



Universidad  
Carlos III de Madrid

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
DEPARTAMENTO INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**I.T.I. Electricidad**

**ESTUDIO Y COMPARATIVA DE  
AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS  
DE BOMBEO ELÉCTRICO**



**AUTOR: Sergio Ambrona González**

**TUTORA: Mónica Chinchilla Sánchez**

Leganés, 12 de Octubre de 2015



# Índice

---

Índice .....	2
Índice de tablas .....	4
Índice de gráficos.....	5
<b>1. Introducción .....</b>	<b>6</b>
1.1 Resumen.....	6
1.2 Objetivo .....	7
<b>2. Eficiencia energética en la industria.....</b>	<b>8</b>
2.1 Visión global .....	8
2.2 Estado de la eficiencia energética en la industria.....	13
2.3 Industria Española. Estado de la eficiencia energética.....	21
2.4 Medidas para el ahorro y la eficiencia energética .....	27
2.5 Posibilidades de optimización energética en accionamientos .....	31
<b>3. Eficiencia energética en motores eléctricos.....</b>	<b>35</b>
3.1 Descripción y funcionamiento.....	35
3.2 Normativa sobre eficiencia en motores eléctricos.....	38
3.3 Comparación entre nuevas y antiguas clases de eficiencia .....	42
3.4 Métodos de medición de la eficiencia energética en motores eléctricos.....	45
3.5 Directiva europea y americana vigente .....	49
3.6 Excepciones a la normativa de eficiencia europea vigente .....	52
3.7 Hoja de ruta de la directiva europea relativa a la eficiencia energética .....	53
3.8 Mapa mundial de eficiencia y normativas aplicables.....	55
3.9 Comparación técnica entre motores eléctricos de distinta eficiencia.....	64
3.10 Caso práctico. Estudio comparativo de eficiencia en motores eléctricos.....	66
<b>4. Eficiencia energética a través de variadores de frecuencia .....</b>	<b>95</b>
4.1 Descripción y funcionamiento.....	95
4.2 Ahorro energético derivado del uso de variadores de frecuencia .....	105
4.3 Funciones específicas para el ahorro energético en variadores de frecuencia .....	107
4.4 Aplicaciones prácticas con potencial de ahorro energético.....	109
4.5 Caso práctico. Estudio comparativo de eficiencia en aplicación con variador de frecuencia vs. regulación tradicional .....	111



<b>5. Aplicación de bombeo. Estudio conjunto de ahorro energético en motores eléctricos y variadores de frecuencia .....</b>	<b>115</b>
5.1 Descripción de aplicación de bombeo.....	115
5.2 Caso Práctico. Datos de la instalación.....	120
5.3 Cálculo de ahorro energético en motores eléctricos.....	123
5.4 Cálculo de ahorro energético con variadores de frecuencia.....	125
5.5 Cálculo de ahorro económico.....	128
5.6 Tiempo de amortización de la inversión .....	129
5.7 Otras medidas para la eficiencia energética de la aplicación .....	130
5.8 Conclusiones para el caso práctico.....	131
<b>6. Referencias.....</b>	<b>132</b>
<b>ANEXO 1. CURVAS CARACTERISTICAS BOMBA BOOSTER TIPO ME 200-355.....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXO 2. HOJAS DE DATOS MOTORES BOMBA BOOSTER.....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO 3. HOJAS DE DATOS VARIADOR BOMBA BOOSTER.....</b>	<b>138</b>





## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Políticas y medidas tomadas en relación a la Eficiencia Energética en el sector industrial en España.....	págs. 27 y 28
<b>Tabla 2.</b> Requerimientos eficiencia energética motores EPACT / CEMEP.....	pág. 38
<b>Tabla 3.</b> Rendimiento motores Eff1, Eff2 y Eff3 según CEMEP.....	pág. 39
<b>Tabla 4.</b> Clases de eficiencia en motores según IEC 60034-30:2008 .....	pág. 40
<b>Tabla 5.</b> Comparación métodos cálculo de pérdidas en motores según IEC 60034-2-1 .....	pág. 42
<b>Tabla 6.</b> Valores rendimiento según CEMEP de acuerdo a IEC 60034 1996.....	pág. 43
<b>Tabla 7.</b> Valores de rendimientos motores según EC 640/2009 de acuerdo a IEC 60034-2-1:2007 .....	pág. 44
<b>Tabla 8.</b> Métodos de medición de pérdidas en motores eléctricos según IEC 60034-2-1:2007 .....	pág. 46
<b>Tabla 9.</b> Métodos de medición de pérdidas adicionales o flujo disperso según IEC 60034-2-1:2007 .....	pág. 47
<b>Tabla 10.</b> Clases de eficiencia y aplicación para motores eléctricos según IEC 60034-30.....	pág. 50
<b>Tabla 11.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. ARGENTINA .....	pág. 55
<b>Tabla 12.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. COLOMBIA .....	pág. 55
<b>Tabla 13.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. BRASIL.....	pág. 56
<b>Tabla 14.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. MÉJICO .....	pág. 56
<b>Tabla 15.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. CHINA .....	pág. 57
<b>Tabla 17.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. EUROPA.....	pág. 58
<b>Tabla 18.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. TURQUÍA.....	pág. 59
<b>Tabla 19.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. RUSIA.....	pág. 59
<b>Tabla 20.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. CANADA.....	pág. 60
<b>Tabla 21.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. TAILANDIA.....	pág. 60
<b>Tabla 22.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. KOREA DEL SUR .....	pág. 61
<b>Tabla 23.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. EMIRATOS ÁRABES.....	pág. 61
<b>Tabla 24.</b> Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. ESTADOS UNIDOS.....	pág. 62
<b>Tabla 25.</b> Valores de potencia absorbida por el ventilador para un perfil de carga .....	pág. 112
<b>Tabla 26.</b> Valores del ventilador para un perfil de carga determinado y velocidad variable .....	pág. 114
<b>Tabla 27.</b> Potencia absorbida por la bomba para un perfil de carga determinado.....	pág. 125
<b>Tabla 28.</b> Valores de rendimiento de los motores a distintas cargas.....	pág. 125
<b>Tabla 29.</b> Valores de potencia absorbida por la bomba para un perfil de carga determinado .....	pág. 126
<b>Tabla 30.</b> Precios netos de motores y variadores .....	pág. 129





## Índice de gráficos

<b>Grafico 1.</b> Crecimiento económico PIB en los países del G20 (2002-2014) .....	pág. 9
<b>Grafico 2.</b> Crecimiento del consumo energético en los países del G20 (2002-2014) .....	pág. 10
<b>Gráfico 3.</b> Caída del consumo energético por país en el G20 (2004-2014) .....	pág. 10
<b>Grafico 4.</b> Intensidad energética por países (2002-2014).....	pág. 11
<b>Grafico 5.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> en los países del G20 (2002-2014).....	pág. 11
<b>Grafico 6.</b> Tendencias intensidad energética en la industria UE.....	pág. 13
<b>Gráfico 7.</b> Mix energético en la industria UE.....	pág. 13
<b>Grafico 8.</b> Cuota del sector industrial en el consumo final de energía por países de UE.....	pág. 14
<b>Grafico 9.</b> Proporción del consume de energía por sector industrial en la UE.....	pág. 14
<b>Grafico 10.</b> Consumo de energía eléctrica en la industria por sector en la UE .....	pág. 15
<b>Grafico 11.</b> Tendencias en la intensidad energética en los países de la UE .....	pág. 15
<b>Grafico 12.</b> Niveles relativos de intensidad energética por sectores en 2012 .....	pág. 16
<b>Grafico 13.</b> Impacto de los cambios estructurales en la intensidad energética .....	pág. 16
<b>Grafico 14.</b> Tendencias en eficiencia energética en el sector industrial de fabricación en UE.....	pág. 17
<b>Grafico 15.</b> Ahorros energéticos en el sector industrial en la UE (2000-2012) .....	pág. 17
<b>Grafico 16.</b> Tendencia en eficiencia energética en el sector industrial por países de la UE .....	pág. 18
<b>Grafico 17.</b> Consumo de energía y ahorro en el sector industrial en la UE .....	pág. 18
<b>Grafico 18.</b> Descomposición del consumo de energía en el sector industrial en la UE (00-10) ...	pág. 19
<b>Grafico 19.</b> Variación del consumo energético en el sector industrial en la UE (2000-2012) .....	pág. 19
<b>Grafico 20.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> provenientes de combustibles fósiles en la industria en la UE ...	pág. 20
<b>Grafico 21.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> directas e indirectas en la industria en la UE (2012).....	pág. 20
<b>Grafico 22.</b> Índice de eficiencia energética en España y la UE (base 100=2000).....	pág. 21
<b>Grafico 23.</b> Índice de Eficiencia energética en el sector industrial en España y la UE.....	pág. 21
<b>Grafico 24.</b> Caracterización económico-energética del sector industrial.....	pág. 22
<b>Grafico 25.</b> Principales indicadores del sector industrial en España.....	pág. 23
<b>Grafico 26.</b> Tendencias de intensidades energéticas en el sector industrial y en las ramas industriales intensivas .....	pág. 23
<b>Grafico 27.</b> Tendencias consumo unitario (tep/t) de las ramas industriales intensivas España y UE.....	pág. 24
<b>Grafico 28.</b> Efecto de la electrificación en la industria en España.....	pág. 24
<b>Grafico 29.</b> Tendencias de la intensidad energética en el sector industrial en España y la UE ...	pág. 25
<b>Gráfico 30.</b> Valores de rendimiento en función de la potencia para clases de eficiencia IE.....	pág. 40
<b>Gráfico 31.</b> Comparación antiguas y nuevas clases de eficiencia en motores eléctricos .....	pág. 42
<b>Grafico 32.</b> Ejemplo de proporción de pérdidas según tipo en un motor eléctrico .....	pág. 45
<b>Gráfico 33.</b> Medición de las pérdidas $P_{LL}$ a través de la medida del par.....	pág. 47
<b>Grafico 34.</b> Valores asignados de perdidas $P_{LL}$ , en motores de inducción.....	pág. 47
<b>Gráfico 35.</b> Fórmulas para el cálculo de $P_{LL}$ según el método Eh-Star .....	pág. 48
<b>Gráfico 36.</b> Fechas de implantación de mínimas clases de eficiencia en motores en Europa.....	pág. 53
<b>Gráfico 37.</b> Mapa mundial con mínimas clases de eficiencia para motores eléctricos .....	pág. 63
<b>Gráfico 38.</b> Proporción de costes de un motor eléctrico durante su ciclo de vida.....	pág. 66
<b>Grafico 39.</b> Ahorro de Energía en Ventiladores con Sistema de Variación de Velocidad.....	pág. 110
<b>Grafico 40.</b> Potencial de ahorro en aplicación de par constante con reg. de velocidad.....	pág. 110
<b>Grafico 41.</b> Curvas características de una bomba centrífuga .....	pág. 115
<b>Grafico 42.</b> Curva característica de una instalación hidráulica .....	pág. 116
<b>Grafico 43.</b> Curva característica bomba-instalación .....	pág. 116
<b>Grafico 44.</b> Curva característica bomba con regulación por válvula de control .....	pág. 117
<b>Grafico 45.</b> Curva característica bomba con regulación mediante variación de la velocidad....	pág. 118
<b>Gráfico 46.</b> Potencia absorbida en la bomba para distintos métodos de regulación.....	pág. 119



# 1.Introducción

---

## 1.1 Resumen

El presente proyecto de fin de carrera se estructura en cuatro temas principales para los cuales se ha desarrollado un capítulo del mismo:

En el primero de estos cuatro capítulos se define qué es la eficiencia energética y se aporta una visión general a nivel mundial sobre el consumo energético y la importancia y relación entre estos dos conceptos, en el presente y de cara al futuro, para posteriormente focalizar esa visión energética a nivel del sector industrial en Europa y más particularizadamente en la industria Española. Se abordan también las medidas adoptadas a lo largo del tiempo en España, principalmente políticas y financieras encaminadas a unos objetivos de eficiencia energética en el sector industrial.

En este mismo capítulo el análisis se centra sobre el consumo eléctrico en el sector industrial donde se produce con mayor intensidad dicho consumo de energía y sobre los accionamientos o motores eléctricos presentes en una gran proporción en este sector, responsables de la mayor parte de este consumo y por lo tanto con las mayores posibilidades para la mejora de la eficiencia energética de este sector.

El segundo capítulo se centra en los motores eléctricos, su definición y funcionamiento, y principalmente las normativas y directivas relacionadas con la eficiencia energética que rigen estas máquinas y que se han ido desarrollando a lo largo de los años con el fin de alcanzar los máximos niveles y definir de manera global estos mínimos requerimientos. En este capítulo se realiza un caso práctico para analizar el consumo energético de motores con distintas clases de eficiencia, potencias y horas de funcionamiento, comparando el ahorro energético y económico relacionado con la clase de eficiencia de estos motores comparados.

El tercer capítulo se centra en los variadores de frecuencia como sistema para accionar o regular los motores eléctricos, dando una descripción y metodología de funcionamiento de estos equipos así como la capacidad de ahorro energético derivado de su uso, a través de algunas funciones específicas y de las posibilidades dependientes del tipo de aplicación donde puedan instalarse. Finalmente en este capítulo también se analiza sobre un caso práctico el consumo y ahorro energético en una aplicación cuando es regulada por un variador de frecuencia frente a una regulación de la aplicación mediante un sistema tradicional.

El último capítulo o tema principal del proyecto es el estudio de una aplicación de bombeo en un caso real, una instalación desalinizadora de agua marina en Lanzarote, donde se disponen de los principales datos de la instalación y de la aplicación para realizar los cálculos de consumos y ahorro energéticos dependiendo de la clase de eficiencia energética de los motores a instalar para accionar la bomba y también los consumos y ahorros energéticos derivados del uso de un variador de frecuencia para la regulación de la bomba accionada, frente a una regulación tradicional mediante válvulas, que permite ajustarse a la variación de las condiciones de trabajo de esa bomba.

También, en este mismo capítulo, se plantean otras medidas adicionales para la mejora de la eficiencia de la instalación. Con el cálculo del ahorro económico y el tiempo de amortización de la inversión para las distintas posibilidades planteadas, con motores de distinta clase de eficiencia y la regulación por medio del variador se pueden obtener las conclusiones sobre el impacto que tienen estas variantes en la eficiencia energética y la rentabilidad de acometerlas.



## 1.2 Objetivo

Los objetivos de este proyecto fin de carrera son:

Tener una visión global de la importancia actual del consumo de energía en la sociedad y las implicaciones económicas, de sostenibilidad y medioambientales que conlleva este consumo energético, necesario para el desarrollo.

Valorar la eficiencia energética de los productos, instalaciones y sectores de la industria como un medio para alcanzar unos objetivos que permitirán a medio y largo plazo unos beneficios para los gobiernos, empresas y ciudadanos. Las medidas y acciones encaminadas a la mejora de la eficiencia energética deben partir de leyes o medidas planteadas por los gobiernos y trasladarse a todos los niveles, haciéndolas atractivas y viables para que tengan un efecto y resultados importantes.

Determinar y definir el peso o importancia que tienen los accionamientos, o sistemas que transformar la energía eléctrica en movimiento, para la gran mayoría de las máquinas y aplicaciones en el sector industrial y por tanto ser conscientes de las grandes posibilidades de mejora en la eficiencia energética de estos elementos.

Conocer de manera práctica el funcionamiento de los motores eléctricos, las leyes y normativas actuales que se han desarrollado relativas a la eficiencia energética de estas máquinas, los aspectos técnicos en que se basa la eficiencia energética de los mismos y su aplicación en el presente y a largo plazo. Mediante el estudio de un caso práctico valorar a través de los cálculos realizados las implicaciones de la eficiencia energética en los motores eléctricos y los resultados obtenidos.

Conocer de manera práctica y descriptiva el funcionamiento de los convertidores o variadores de frecuencia que se utilizan para regular el funcionamiento de los motores eléctricos y cuya tecnología se ha ido desarrollando y mejorando hasta la actualidad, determinar las posibilidades o potencial de ahorro energético derivado de la utilización de estos equipos gracias a la optimización del funcionamiento del motor según los requerimientos de la aplicación. Mediante el estudio de un caso práctico a través de los cálculos realizados valorar el ahorro energético de un sistema regulado con variador de frecuencia frente a otro regulado con un sistema tradicional y los resultados obtenidos.

Realizar, en un caso real de una aplicación de bombeo en una instalación desaladora de agua del mar conociendo los datos principales de la misma, los cálculos de consumo energético, ahorro energético y económico derivado de la instalación de motores con distinta clase de eficiencia energética para accionar la bomba, e instalación de un variador de frecuencia para la regulación de los motores, tiempo de amortización de la inversión para los motores y variador de frecuencia y conclusiones obtenidas en base a estos cálculos de las diferentes posibilidades planteadas.

## 2. Eficiencia energética en la industria

---

### 2.1 Visión global

En primer lugar es necesario conocer las distintas definiciones y conceptos relacionados con el ahorro y la eficiencia energética:

#### **Demanda energética:**

Cantidad de energía primaria (consumida en las fuentes primarias para la generación o transformación de la propia energía en diferentes tipos) y final (consumida en los diferentes sectores de la economía o sociedad como el transporte, la industria, doméstico o servicios) consumida en un país o región. Está ligada fuertemente al crecimiento demográfico y desarrollo del país o región así como a la calidad de vida de la población.

La reducción de esta demanda energética redundará en la minoración de los costes de la energía, el crecimiento de la seguridad de abastecimiento energético y la reducción del impacto ambiental.

Esta reducción de la demanda energética se puede conseguir principalmente a través de:

- Reducción del consumo de energía en los sectores consumidores
- Aumento de la eficiencia energética [29]

#### **Intensidad energética:**

Uno de los indicadores o variables energéticas que se utilizan para la medida y comparación de sectores, países o regiones y que relacionan el consumo de energía y un indicador de actividad económica o el consumo de energía y un indicador de actividad en términos físicos.

A través de estos indicadores o variables se pueden estudiar las tendencias o progresiones de la eficiencia energética en distintos países o regiones producidos por las distintas actuaciones políticas o estrategias de gestión de la energía.

Estos indicadores tienen una base de análisis y recopilación generalizada con una misma metodología para poder realizar una comparativa entre distintas regiones o países y durante distintos periodos temporales. [29]

#### **Ahorro energético:**

Consiste en optimizar el consumo de energía con el fin de disminuir el uso de la misma para producir el mismo resultado final con el mismo nivel de calidad. Este ahorro energético se puede derivar, por ejemplo, de sistemas con elevado rendimiento.

Está ligado de manera directa con la eficiencia energética, cuanto mayor ahorro energético hay mayor es la eficiencia energética, de hecho podríamos decir que son términos equivalentes o similares. [29]

### **Eficiencia energética:**

Dentro del contexto de la demanda energética actual y la tendencia de esta demanda a aumentar cada vez más, ligada al crecimiento demográfico, al desarrollo tecnológico y social y al aumento del consumo de las diferentes regiones del mundo, la eficiencia energética es la obtención de los distintos bienes y servicios para cubrir las distintas necesidades con menos consumo de energía.

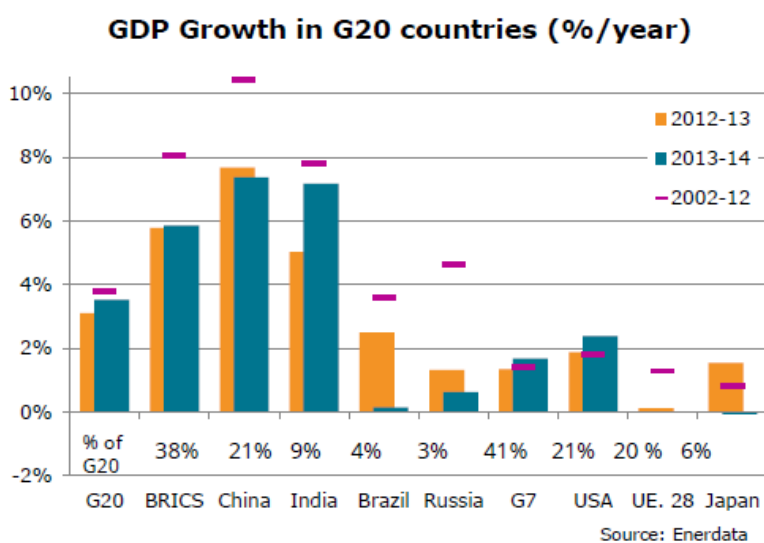
La eficiencia energética provee también de una reducción de la contaminación para la conservación del medioambiente, de una sostenibilidad en el consumo de los recursos energéticos para asegurar el suministro y reducir su coste económico así como la dependencia y conflictividad de la obtención de los mismos en las distintas regiones.

La eficiencia energética en el futuro se podrá considerar como una nueva fuente de energía, que podrá dotarnos de beneficios tan importantes como el aumento de la competitividad (gracias a la reducción del coste energético, la creación de empleo relacionado la misma, y el impulso del I+D de un país), la seguridad del suministro energético y la sostenibilidad (gracias a las reducciones de emisiones de GEI y minoración del daño al medioambiente). [29]

Es importante tener una visión global lo más actual posible de los consumos energéticos y tendencias a nivel mundial para poder valorar la importancia, ahora y de cara al futuro, de la necesidad de disponer de las herramientas necesarias para poder aumentar la eficiencia energética de nuestro mundo, nuestras sociedades y nuestros procesos con el objetivo de obtener los máximos beneficios posibles económicos, de sostenibilidad y frente a la contaminación global.

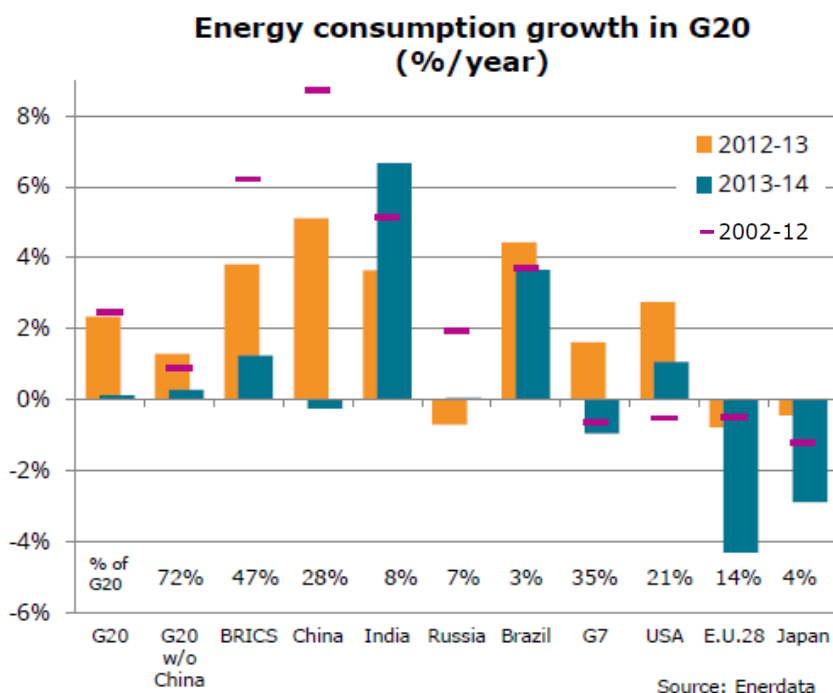
Basándonos en los datos recogidos podemos analizar las tendencias para los países del G20 en relación a los parámetros energéticos. Las cifras claves en 2014 relativas a la energía en estos países del G20, que suponen alrededor del 80% del consumo de energía global, desprenden que se produjo un crecimiento económico del 3,5%, un estancamiento del consumo de energía +0,3% (10,8 Gtep) y una estabilización de las emisiones de CO<sub>2</sub> -0,2% (26 GtCO<sub>2</sub>). [1]

Podemos ver en el siguiente gráfico la existencia de un crecimiento estable a nivel mundial pero con diferencias importantes a nivel de país:



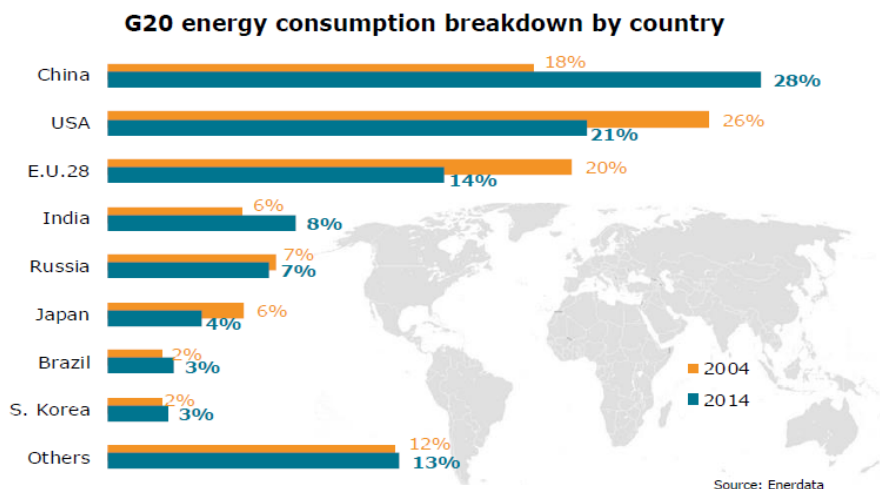
**Grafico 1. Crecimiento económico PIB en los países del G20 (2002-2014) [1]**

En relación al consumo de energía existe en 2014 un estancamiento histórico, no se da un incremento en el consumo de energía a pesar del crecimiento económico cuando normalmente estos dos parámetros suelen estar ligados. Analizando estos datos también a nivel de país, se puede ver en el siguiente gráfico como se da en este año una estabilización en China (supone un 30% de los países del G20) por primera vez en 17 años, la Unión Europea (28 países) sufre la mayor caída en su consumo este año (excepto durante la crisis), EE.UU. tiene un crecimiento moderado y sin embargo en la India se produce un crecimiento de consumo energético muy fuerte. [1]



**Gráfico 2. Crecimiento del consumo energético en los países del G20 (2002-2014) [1]**

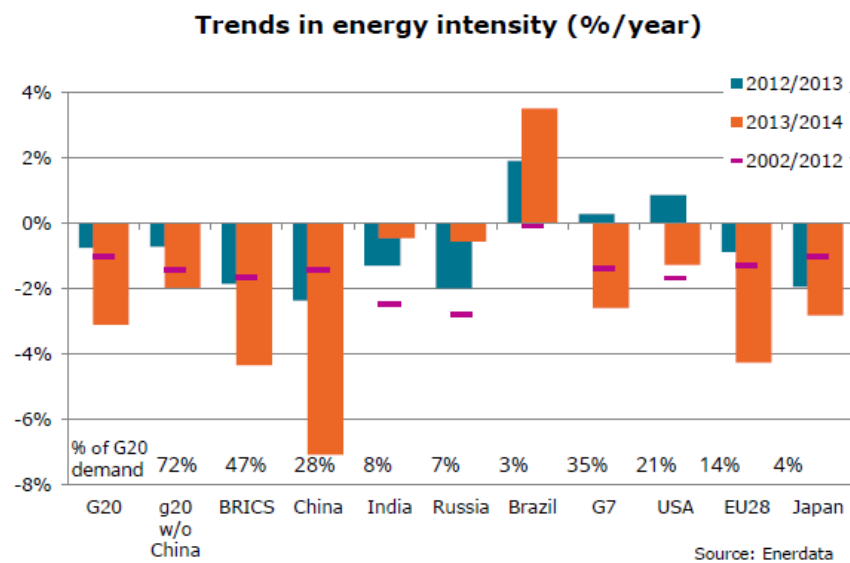
En el 2014 hay una caída del consumo energético por países significativa, teniendo el mayor peso en este parámetro China y EE.UU. con aproximadamente el 50% del total del G20. [1]



**Gráfico 3. Caída del consumo energético por país en el G20 (2004/2014) [1]**

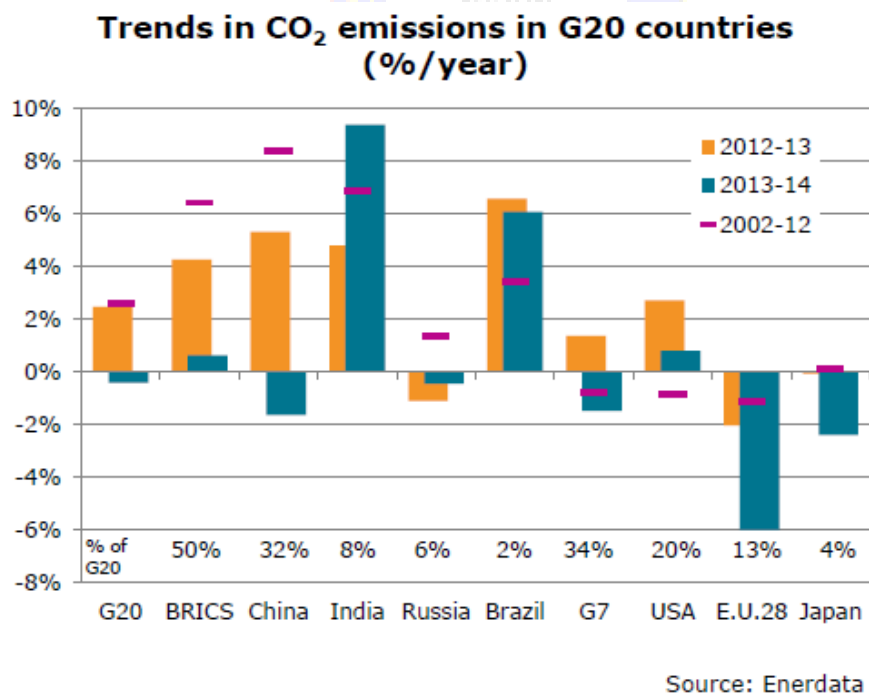


También se produce un declive significativo de la intensidad energética en Europa y China pero principalmente debido a las condiciones climáticas de este último año [1]



**Grafico 4. Intensidad energética por países (2002-2014) [1]**

En relación a las emisiones de CO<sub>2</sub> en los países del G20 ha habido este último año una estabilización en las emisiones, por primera vez en 40 años, relacionada lógicamente con el estancamiento del consumo de energía, una significativa caída en Europa y por el contrario un fuerte incremento en India [1]



**Grafico 5. Emisiones de CO<sub>2</sub> en los países del G20 (2002-2014) [1]**



Los datos del 2014 recogidos, anteriormente descritos, son remarcables ya que demuestran para este año casi un estancamiento en la demanda energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> a pesar del crecimiento económico, pero se debe analizar si esto es un resultado puntual o una tendencia aunque es pronto para decirlo ya que existen tres factores que lo determinarían: [1]

- Las tendencias estructurales (Estructura industrial, Desarrollo de capacidad y producción de renovables y realización de políticas de eficiencia energética)
- Factores cíclicos y no recurrentes (invierno muy cálido en Europa y en algunos países asiáticos, alta disponibilidad hidráulica para generación)
- Evoluciones aún no visibles (Cambios en el mix energético, evolución de las economías emergentes)

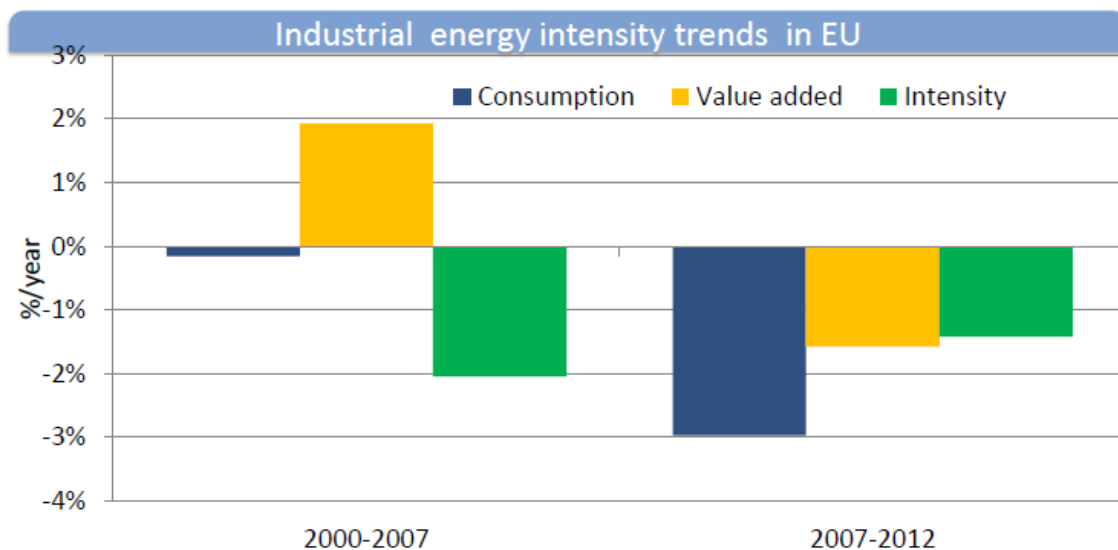




## 2.2 Estado de la eficiencia energética en la industria

### Tendencias en el consumo de energía en el sector industrial

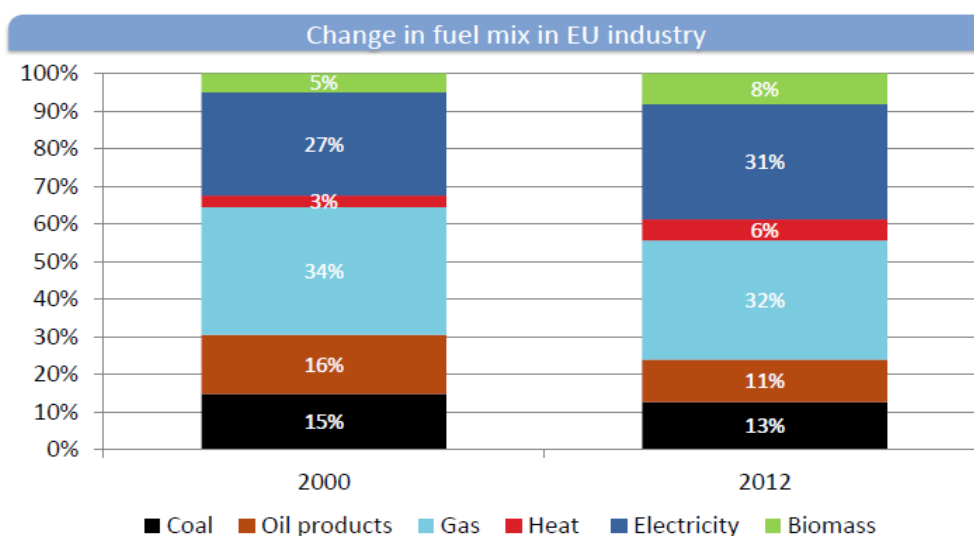
La intensidad energética ha ido decreciendo lentamente desde el año 2007, el consumo y la producción han seguido una tendencia decreciente similar y ha habido un fuerte desacoplamiento entre el consumo de energía y la producción hasta 2007, y un crecimiento en la producción energética posteriormente. [4]



Source: Eurostat; industry: manufacturing+ construction and mining

**Grafico 6. Tendencias intensidad energética en la industria UE [4]**

Se ha producido un incremento de la cuota de consumo eléctrico en el sector industrial junto con una progresión de fuentes de energía como biomasa y las térmicas, frente a un detrimento de la cuota en el mix energético de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón. [4]



**Gráfico 7. Mix energético en la industria UE [4]**

En la mayoría de los países de la UE la cuota del sector industrial en el consumo final de energía está decayendo, pero hay diferencias significativas entre países algunos con grandes detrimentos y otros con fuertes incrementos lo cual influye en menor o mayor medida a la media, debido también a la gran diferencia entre países de la UE en cuanto al peso de la industria en los mismos. [4]

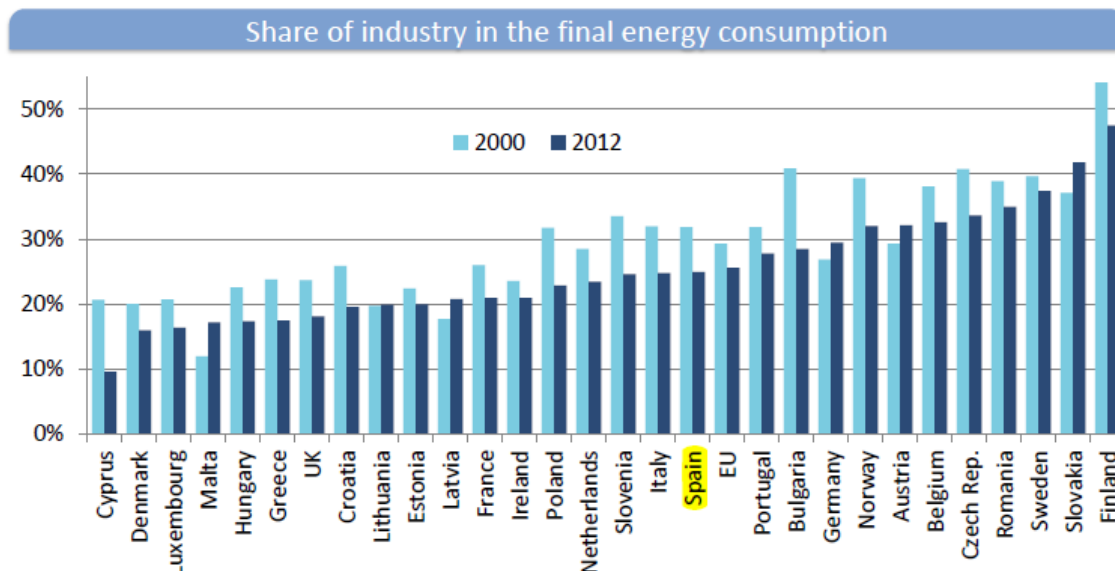


Grafico 8. Cuota del sector industrial en el consumo final de energía por países de UE. [4]

Por sectores industriales, la industria química es el mayor consumidor de energía seguido de la metalurgia, minerales no metálicos, papel y alimentación. Los sectores industriales intensivos en energía como química, metalurgia, y minerales no metálicos representan dos tercios del consumo total. El consumo energético del sector químico, el sector del papel y de alimentación está incrementándose mientras que el sector de la metalurgia está decayendo. [4]

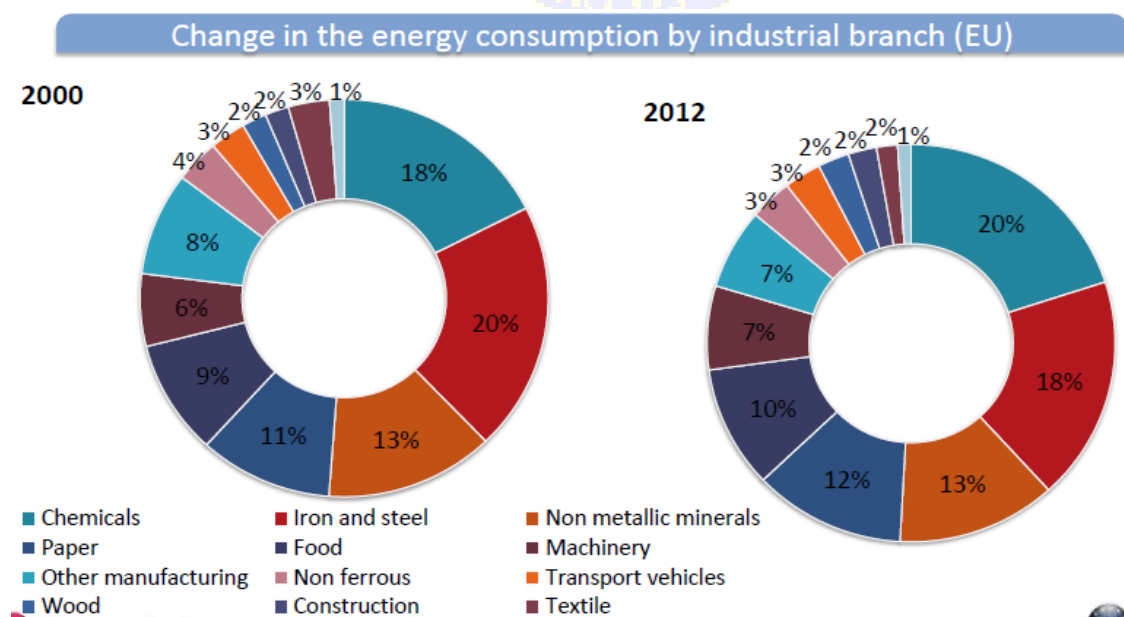


Grafico 9. Proporción del consumo de energía por sector industrial en la UE [4]

El consumo de energía eléctrica desde 2008 decayó en todos los sectores industriales debido a la crisis mientras que hasta 2008 se incrementó en la mayoría, unido a la sustitución de la electricidad por fuentes como el petróleo. [4]

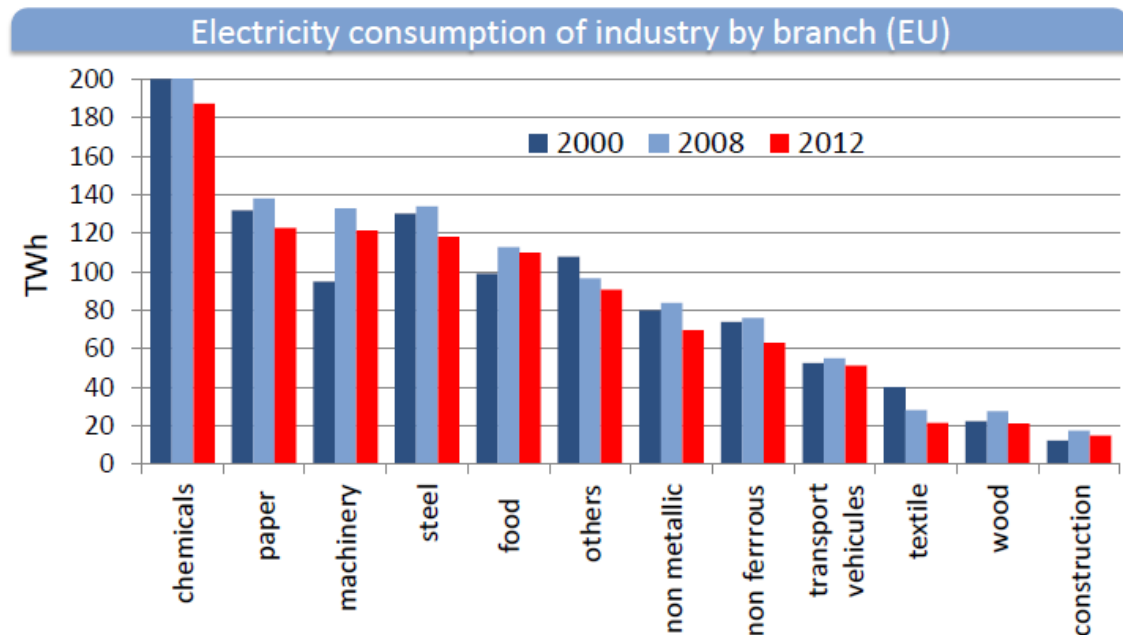


Grafico 10. Consumo de energía eléctrica en la industria por sector en la UE [4]

### Tendencias en la intensidad energética en el sector industrial

Desde el 2008 ha habido una ralentización en el decrecimiento de la intensidad de la energía para 11 países y para la media de la UE en el sector industrial, mientras que para 9 países la intensidad continuó decreciendo más rápidamente desde 2008.

Por el contrario la intensidad energética ha estado incrementándose en el sector industrial en 8 países desde el 2008 debido al hecho de que el consumo de energía no siguió la reducción en el consumo de energía debida a la menor eficiencia energética. [4]

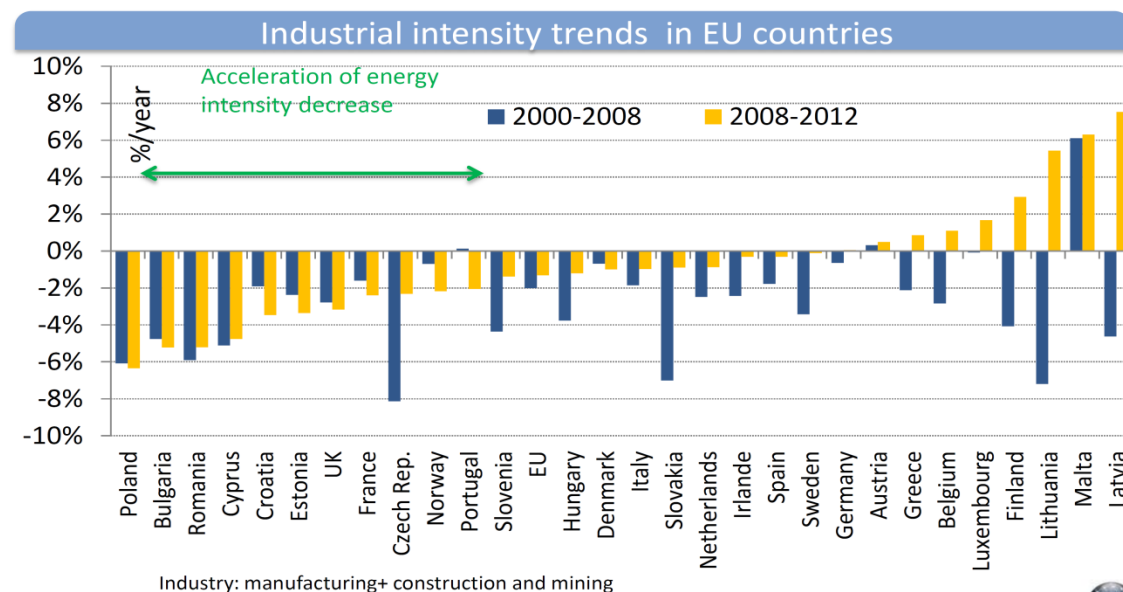
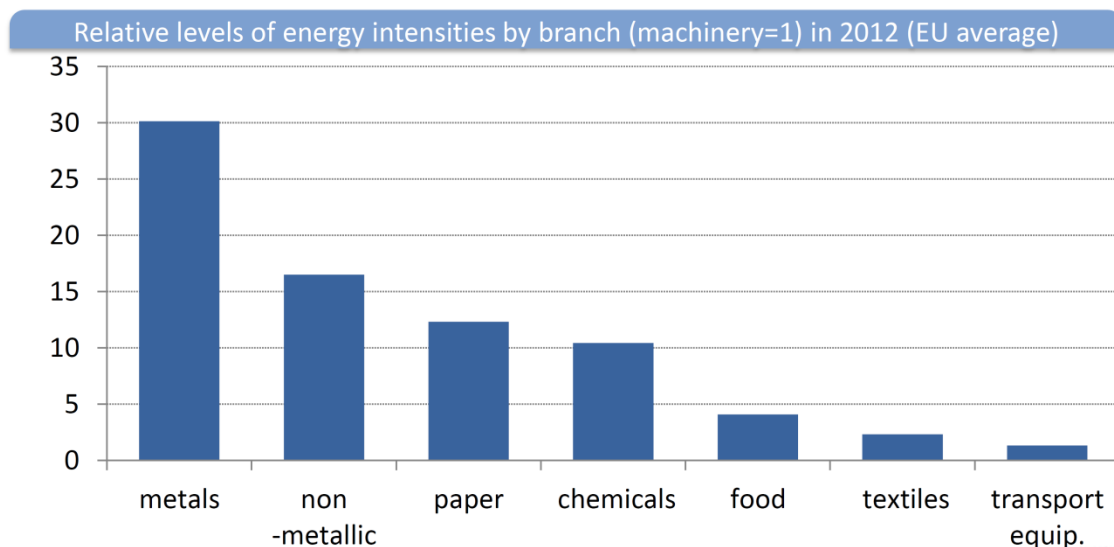


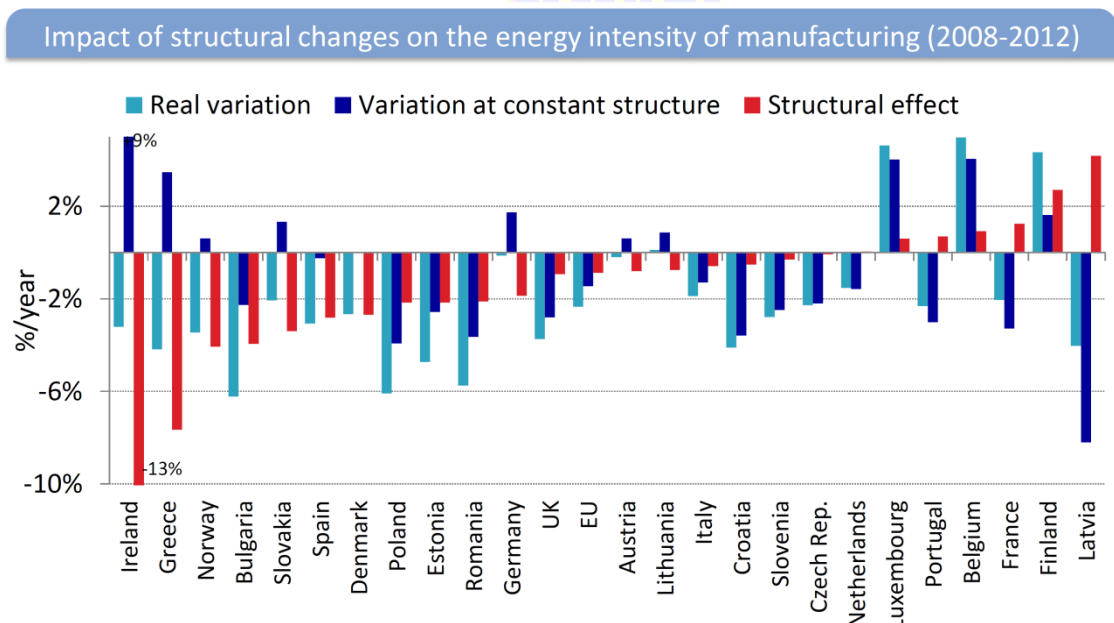
Grafico 11. Tendencias en la intensidad energética en los países de la UE [4]

Como podemos ver a continuación, en cuanto a sectores el reparto de intensidad energética sería 30 veces mayor para el sector siderúrgico, 17 veces para el sector de minerales no metálicos y 12 veces para el sector del papel que el consumo de energía para producir una unidad de valor añadido respecto al sector de maquinaria (el sector con menor intensidad). [4]



**Grafico 12. Niveles relativos de intensidad energética por sectores en 2012 [4]**

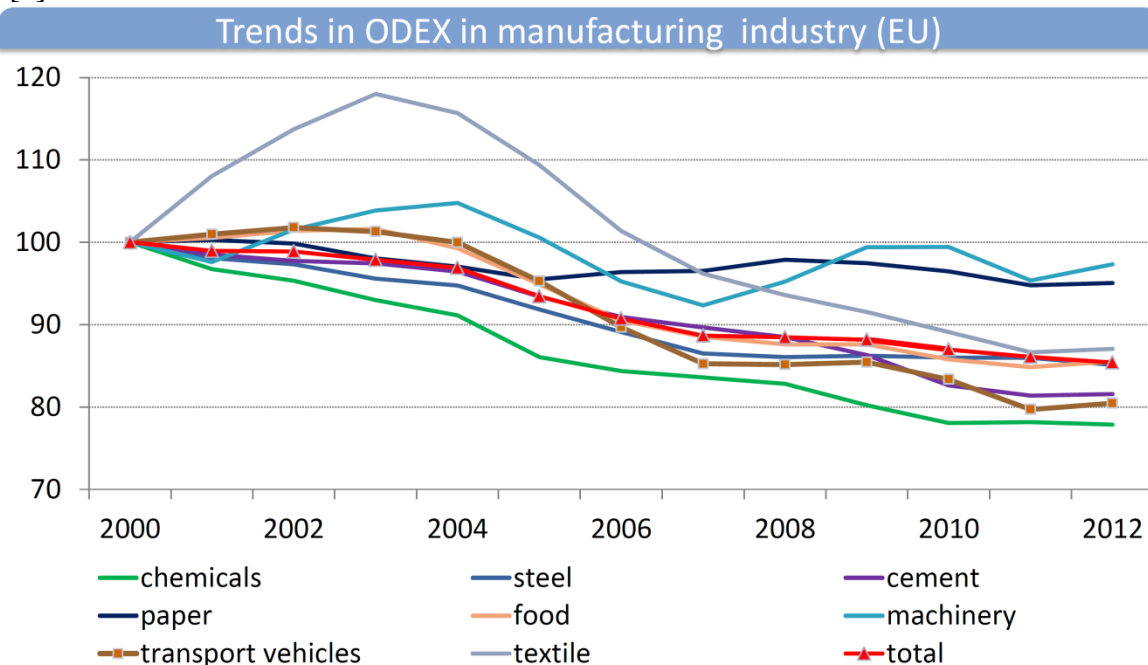
Es notable la aceleración en el decrecimiento de la intensidad energética en el sector de fabricación en el periodo 2008-2012, a nivel de la UE los cambios estructurales explican alrededor de un 40% de este decrecimiento de la intensidad energética, siendo más ostensible (>60%) en 10 países, entre ellos España y de manera general para este sector, los cambios estructurales explican el decrecimiento de la intensidad energética en un 42 % en el periodo citado, con respecto al nivel de la UE. [4]



**Grafico 13. Impacto de los cambios estructurales en la intensidad energética [4]**

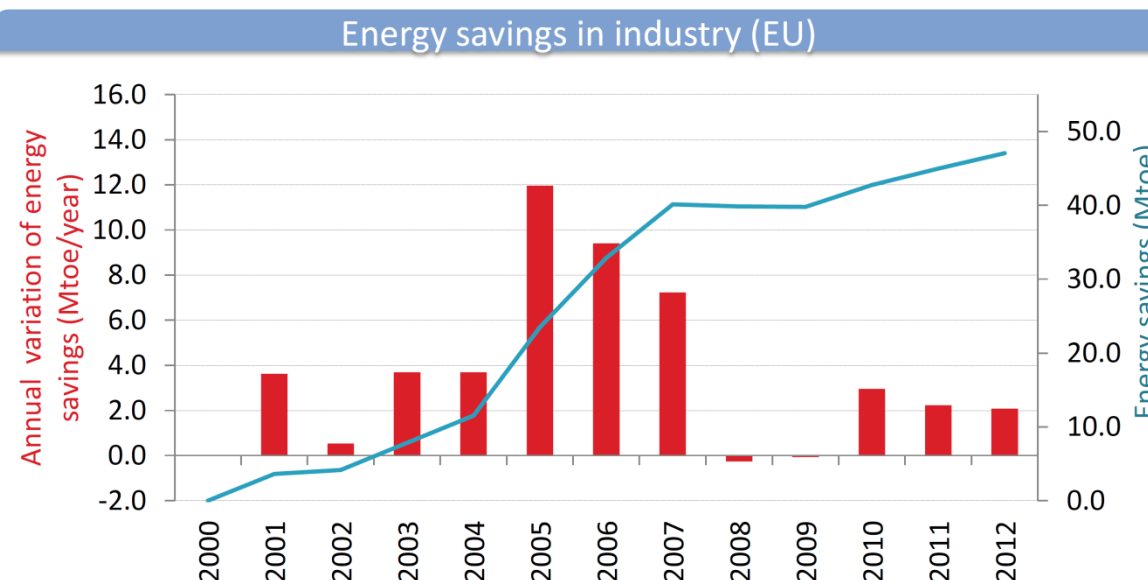
### Tendencias en la eficiencia energética en el sector industrial:

Se ha producido una rápida mejora de la eficiencia energética entre los años 2000-2007 en la industria a nivel de la UE (1,7%/año), mientras que desde el 2008 esa mejora ralentizó su progreso (0,9%/año) debido en gran parte a la profunda crisis sufrida a partir de ese periodo. De media la eficiencia energética de la UE se incrementó en un 1,3%/año desde el 2000 (15% total). [4]



**Grafico 14. Tendencias en eficiencia energética en el sector industrial de fabricación en UE [4]**

En el 2012, el ahorro energético en la industria alcanzó 47 Mtep comparado con el 2000, es decir, sin una mejora en la eficiencia energética, el consumo de energía habría sido mayor de 47 Mtep. En 20008 y 2009 se produjeron muy pocos ahorros energéticos con la recesión económica sufrida, y a partir del 2010 estos ahorros fueron menores (alrededor de 2 Mtep/año) [4]



**Grafico 15. Ahorros energéticos en el sector industrial en la UE (2000-2012) [4]**

Desde el 2008 hubo un deterioro en la eficiencia energética de la mayoría de los países, para alguno de estos países, entre ellos España, la tendencia de la eficiencia energética fue negativa producida por un deterioro del nivel de eficiencia energética, esto se produce en este caso particular en periodos de recesión cuando las fabricas no trabajan a plena capacidad y por lo tanto son menos eficientes que en un año normal. [4]

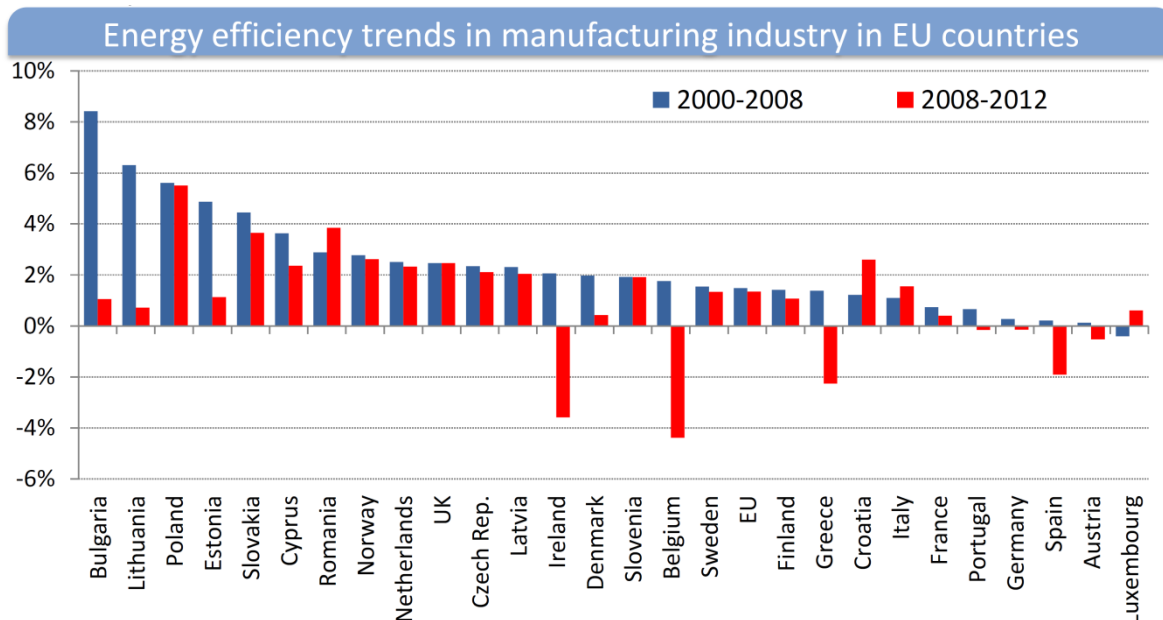


Grafico 16. Tendencia en eficiencia energética en el sector industrial por países de la UE [4]

En el 2012 los ahorros energéticos en la industria alcanzaron alrededor de las 120 Mtep comparado con el año 1990, lo que significa que sin la mejora de la eficiencia energética, el consumo de energía habría sido superior en 120 Mtep. [4]

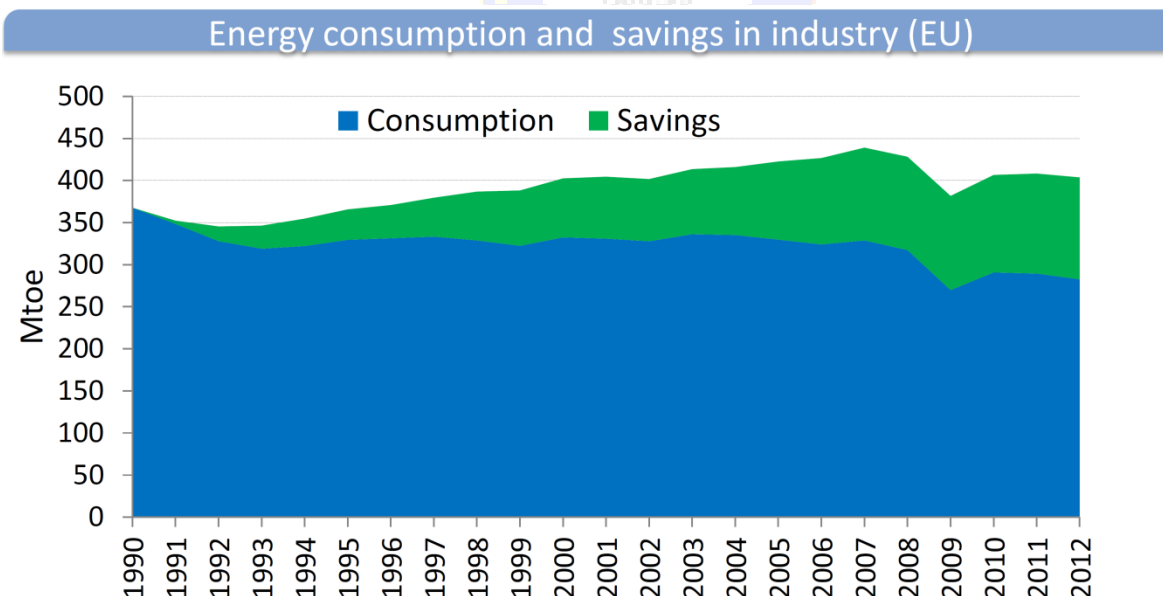
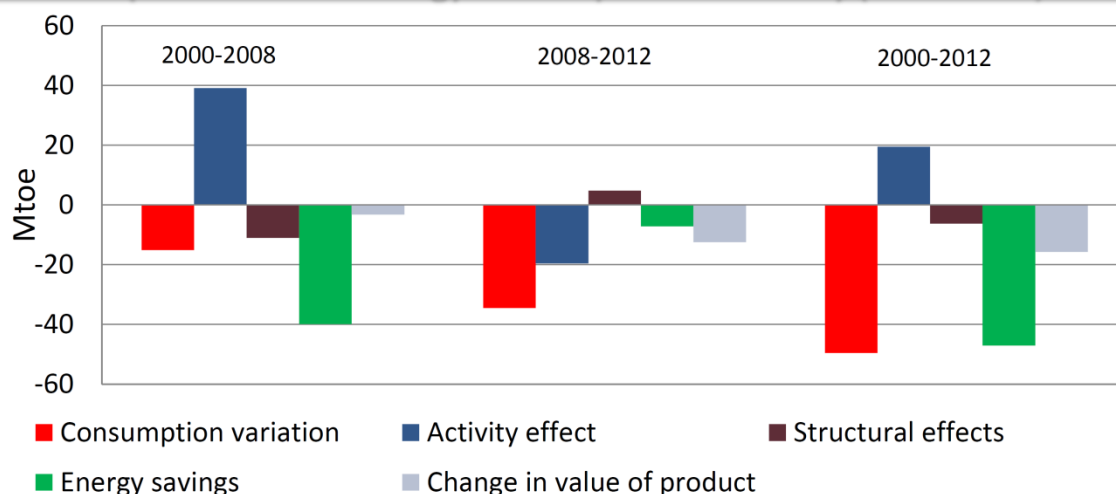


Grafico 17. Consumo de energía y ahorro en el sector industrial en la UE [4]

El consumo de energía entre el 2000 y el 2012 disminuyó en unas 50 Mtep, debido principalmente a 2 tendencias opuestas: [4]

- Los ahorros de energía y efectos estructurales hacía sectores menos intensivos en energía han contribuido a disminuir el consumo de energía global en el sector industrial en este periodo.
- Por el contrario, el crecimiento de la actividad por sector contribuye a aumentar el consumo de energía.

#### Decomposition of the energy consumption of industry (2000-2010): EU



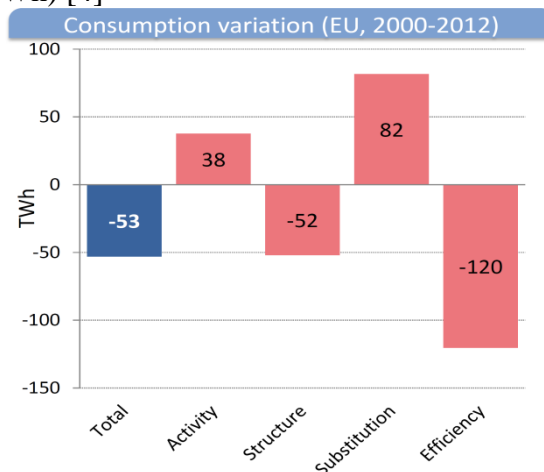
\* Activity and structural effects based on value added; value of product: change in ratio value added over index of production

#### Grafico 18. Descomposición del consumo de energía en el sector industrial en la UE (2000-2010)

En cuanto a la variación del consumo eléctrico en la industria entre 2000-2012, principalmente dos factores contribuyeron al incremento de este consumo en la industria:

- El crecimiento industrial (38 TWh)
- Sustitución de la electricidad por combustibles fósiles, principalmente en sectores como maquinaria, alimentación y metalurgia.

El efecto de estos dos factores fue más que compensado por la mejora de la eficiencia energética (-120 TWh o -12 TWh/año), principalmente en el sector químico y metal, de igual manera, los cambios estructurales hacia sectores eléctricos menos intensivos también contribuyeron a un menor consumo (-52 TWh) [4]



Source: Enerdata

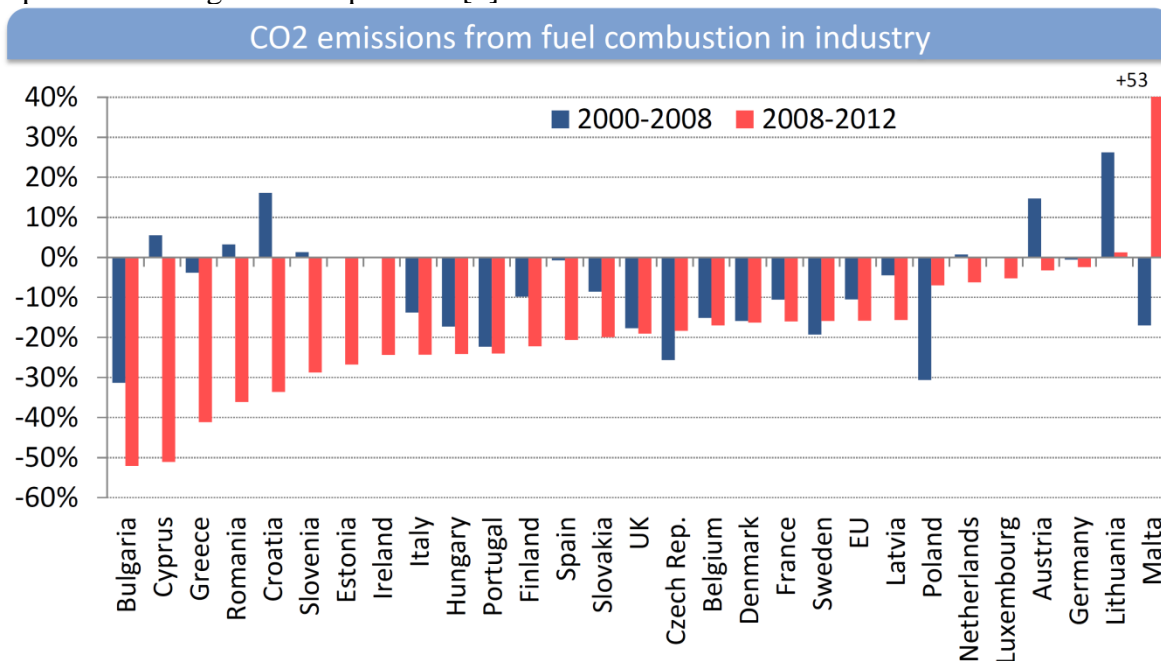
#### Grafico 19. Variación del consumo energético en el sector industrial en la UE (2000-2012) [4]



## Emisiones de CO<sub>2</sub>:

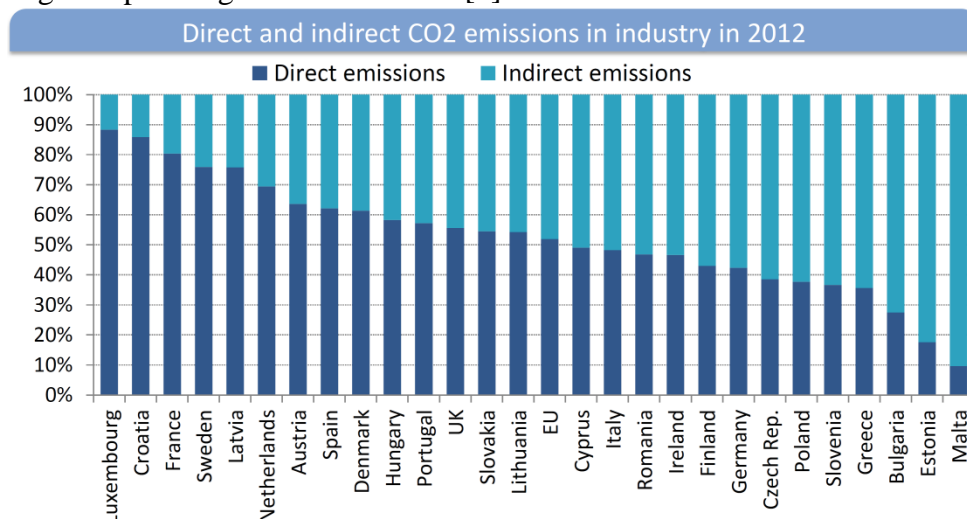
Se ha producido una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la quema de combustibles fósiles desde 1990 a 2012 en la mayoría de los países de la UE, una fuerte reducción en la mayoría de los nuevos países miembros en este periodo, y concretamente una reducción del 38% para la UE como conjunto.

La mayor reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> se ha producido desde el 2008, en la mayoría de los países salvo algunas excepciones. [4]



**Grafico 20. Emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de combustibles fósiles en la industria en la UE. [4]**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> indirectas del sector industrial tienen la misma magnitud que las emisiones directas en la UE en el 2012, con fuertes discrepancias entre países, dependiendo del mix energético para la generación estatal. [4]



Indirect emissions: emissions induced by electricity purchased ; emissions of electricity sector allocated to industry in proportion of its share in electricity consumption

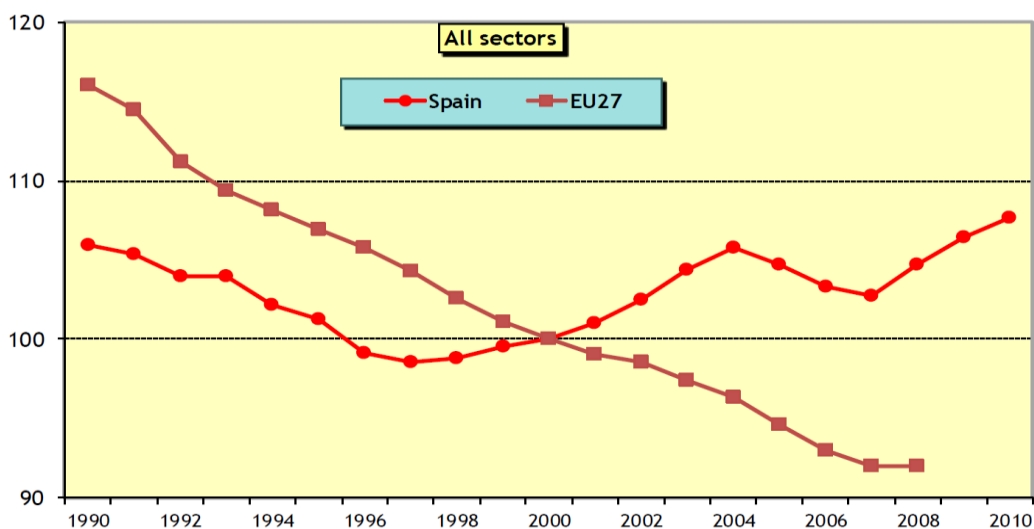
**Grafico 21. Emisiones de CO<sub>2</sub> directas e indirectas en la industria en la UE (2012) [4]**



## 2.3 Industria Española. Estado de la eficiencia energética

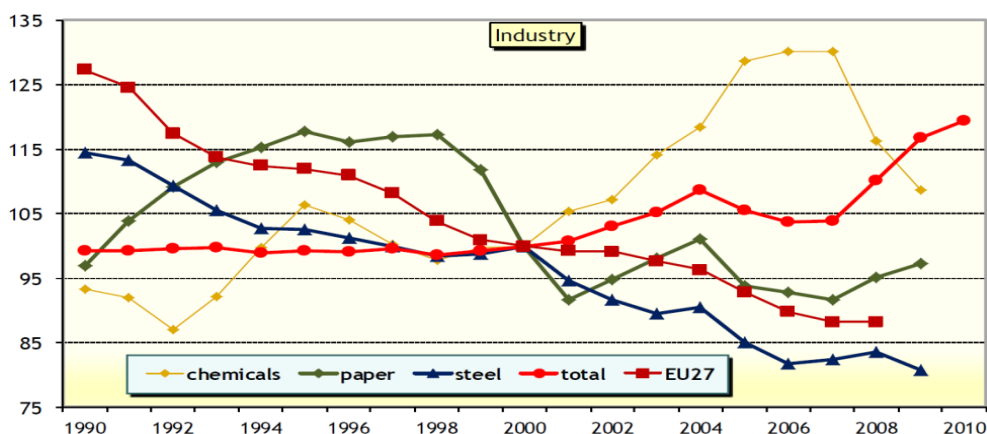
En los últimos años el índice de eficiencia energética en España muestra un punto de inflexión a partir del 2004, motivado por la puesta en marcha de la *Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia energética* que supone unos requerimientos más exigentes en eficiencia energética, siguiendo las disposiciones relativas a esta materia promovidas por la UE.

Este cambio, en general en todos los sectores, supone la evolución paralela de este índice en España con respecto al de la UE, hasta el año 2008, donde los efectos de la crisis económica hacen que se invierta esta evolución positiva debido en gran medida a los cambios estructurales causados por la menor actividad económica, sobre todo en el sector industrial donde más se acentúa el efecto de la crisis, adelantándose al resto de los sectores. [7]



**Grafico 22. Índice de eficiencia energética en España y la UE (base 100=2000) [7]**

En el sector industrial a partir del 2004 se produce una mejora en la eficiencia energética en la mayoría de las ramas de este sector, pero es a partir del 2008 cuando el mayor impacto de la crisis en este sector industrial produce un empeoramiento notable de este índice de eficiencia energética. En este periodo destaca el sector de la alimentación y el metalúrgico con mayores progresos en eficiencia y también el sector químico con mejoras a partir del 2007, sin embargo en la industria manufacturera y de minerales no metálicos, cuya eficiencia no progresa, impacta en el índice a nivel global del sector industrial debido a su peso dentro del mismo. [7]

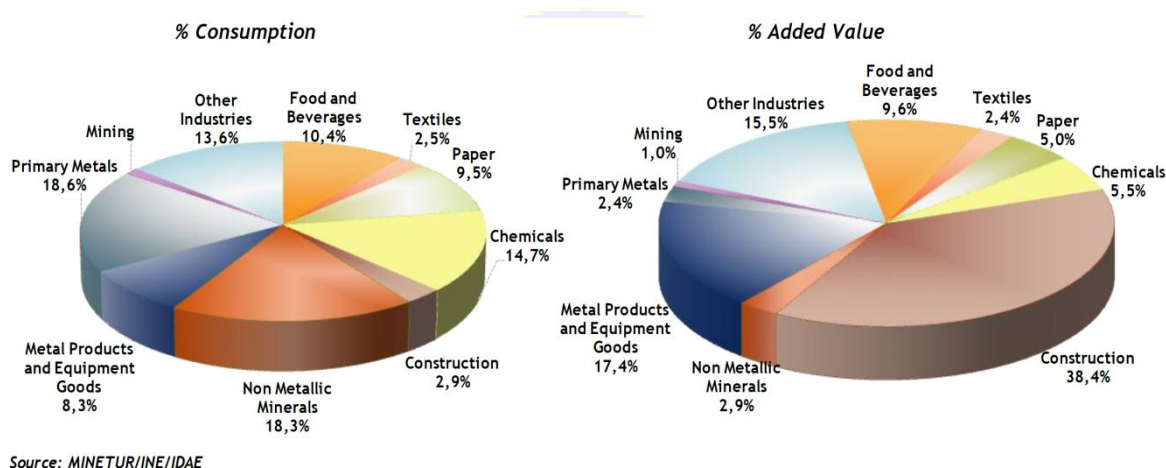


**Grafico 23. Índice de Eficiencia energética en el sector industrial en España y la UE [7]**

A pesar de la tendencia regresiva en la industria en términos de la demanda y la contribución al PIB de la estructura sectorial, esta composición sectorial en España establece una cierta resistencia a la mejora de la intensidad energética asociada, como se puede entender a partir de las diferentes participaciones de las ramas de la industria española en el consumo y la contribución al Valor Añadido Bruto del sector.

Por lo tanto, la industria española destaca por la integración de los sectores intensivos desde el punto de vista energético, como metalurgia, minerales no metálicos, química y papel, con una escasa contribución a la productividad del sector en su conjunto; es decir, no hay una correspondencia entre el peso que estos sectores muestran en términos económicos y energéticos. Esta falta de correspondencia llegó a su máxima expresión en la metalurgia y minerales no metálicos, cuya contribución a la demanda global de energía en el sector es siete veces mayor que su contribución al valor añadido bruto del sector industrial. Este hecho, como se verá más adelante, justificará en gran medida la mayor intensidad energética de la industria española en comparación con otros países con un modelo industrial diferente.

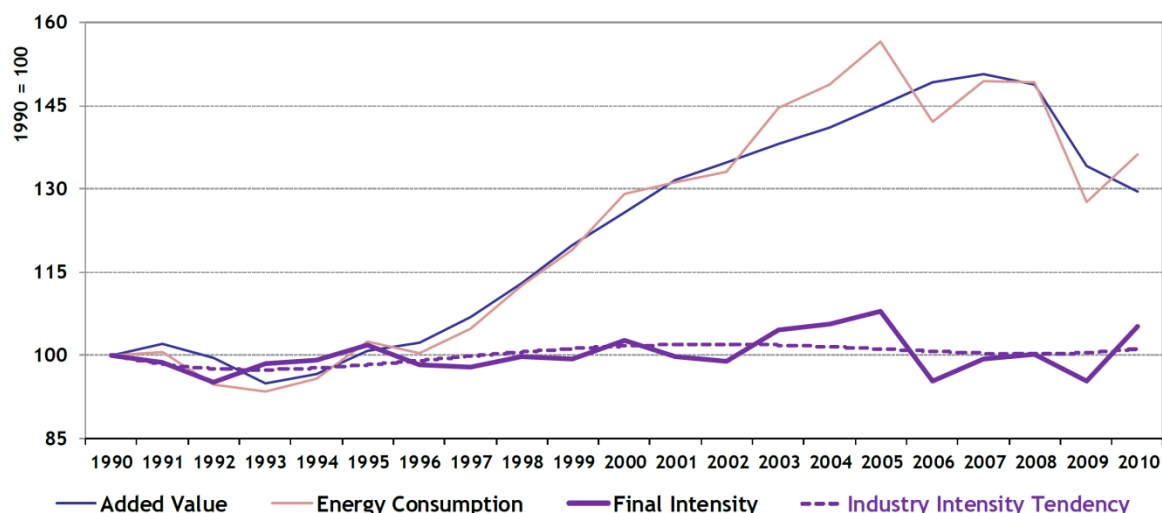
Es notable la estrecha relación de estas dos ramas o sectores con la construcción y el sector del automóvil, tradicionalmente con gran relevancia en la economía nacional y realmente competitivos, y que ahora se ven afectados gravemente por la crisis desencadenada a partir del año 2008; este hecho no ha dejado indemnes estos sectores mencionados, así como otros cuyas actividades mantienen una relación con dichos sectores. [7]



**Gráfico 24. Caracterización económico-energética del sector industrial [7]**

En contraste con la caída del 14,4%, registrado en 2009, en la demanda de energía de la industria, en 2010 se produjo un aumento del 6,7%, que representa 27.309 ktep. Este aumento parecía apuntar a una reactivación de la actividad en el sector a lo largo de dicho año, como lo demuestra la evolución del Valor Añadido Bruto, que en ese año representó una desaceleración en la caída registrada desde 2008. Por lo tanto, incluso si el Valor Añadido Bruto en 2010 siguió su descenso, un 3,4% como consecuencia de la crisis, esta disminución fue bastante lenta si se compara con el 10% del año anterior. [7]

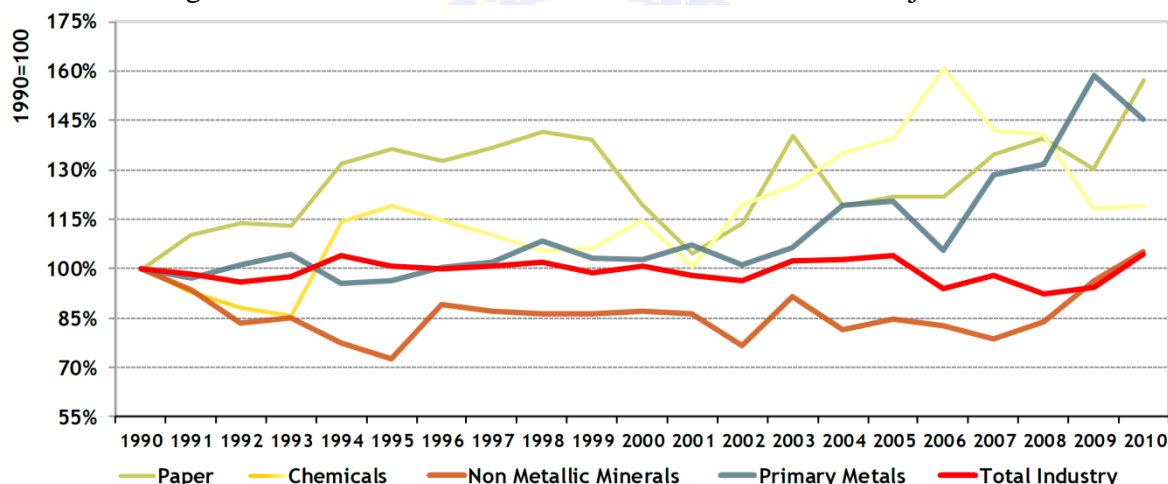
El crecimiento observado en la demanda energética es esencialmente el resultado de un aumento del 9,8% de la demanda asociada al gas natural, cuya contribución a la demanda global de energía en el sector representó el 41,4%. Otros productos energéticos que contribuyeron a la demanda global en 2010 fueron las energías renovables y el carbón, con un registro de 8,9% y 27,5%, respectivamente. El aumento de la demanda junto con la caída en el VAB condujo a un aumento en la intensidad energética de un 5 - 10 %, y mostró el comportamiento errático de anteriores años con una ligera tendencia a la estabilización. [7]



Source: INE/MINETUR/IDAE

**Grafico 25. Principales indicadores del sector industrial en España [7]**

Como se dijo anteriormente, este sector muestra cierta inercia a la mejora de la intensidad, lo que está en sintonía con su estructura sectorial, y en particular con algunos sectores cuyas intensidades energéticas determinan la evolución de la intensidad del conjunto de la industria.



Source: MINETUR/INE/IDAE

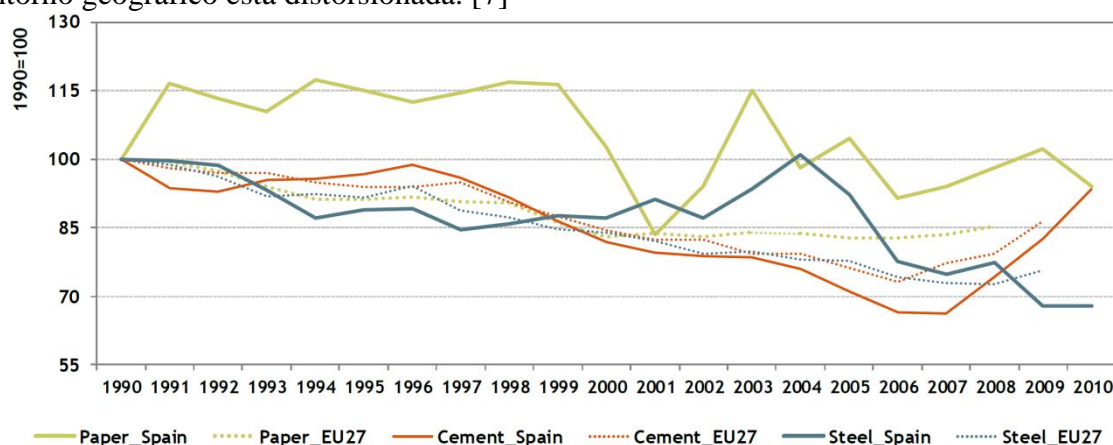
**Grafico 26. Tendencias de intensidades energéticas en el sector industrial y en las ramas industriales intensivas [7]**

La evolución reciente está determinada por la crisis, que afecta el ritmo de las actividades de las empresas industriales, y que distorsiona la capacidad operativa de su rendimiento y eficiencia. Esta es la conclusión alcanzada a partir del análisis respecto a la evolución del consumo unitario asociado con la producción en estos sectores. El consumo mencionado suele mostrar una recuperación antes de la crisis como resultado de diversas medidas de mejora, implementadas en los procesos vinculados a la industria del cemento, del hierro y el acero, como la producción de proceso seco o por medio de arco eléctrico en ambos casos.

Desde el año 2008 en adelante, con la llegada de la crisis, tuvo lugar una recuperación que persiste en la actualidad en relación al cemento, incluido en el sector de minerales no metálicos. [7]

La razón de esto es principalmente, una menor actividad que determina que el equipamiento involucrado, ya sea calderas, hornos o motores rendirían por debajo de su plena capacidad con menor eficiencia; y otra, la existencia de demanda estable de energía no vinculada al nivel de actividad, como la relacionada con la iluminación, la calefacción y la refrigeración, etc. Este hecho ayuda a explicar el empeoramiento observado en el comportamiento del efecto tecnológico en el período 2008-2010.

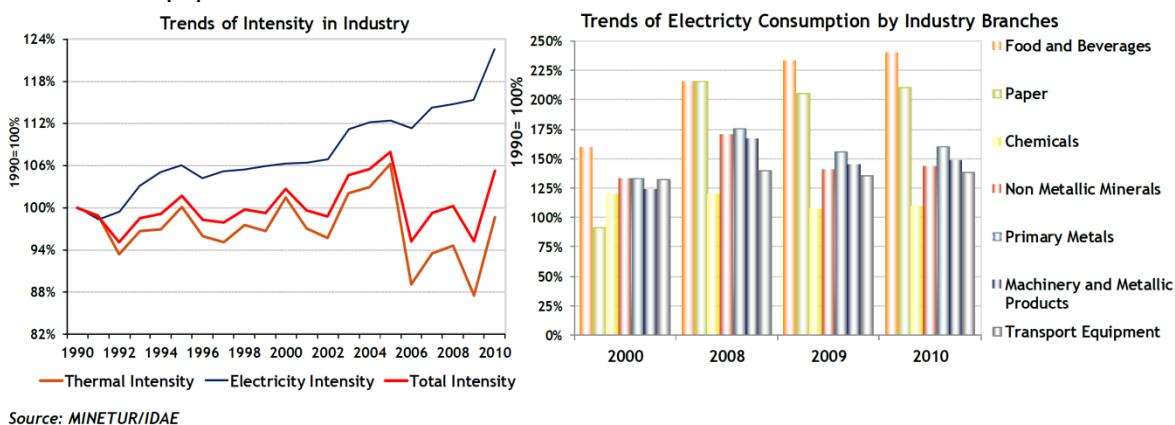
Por lo tanto, en los períodos de recesión como la actual, puede observarse que la demanda de energía no sigue los mismos criterios que la actividad, por lo que la evolución del consumo unitario en el mismo período, de 2009 y 2010, tanto en España como en los países de nuestro entorno geográfico está distorsionada. [7]



Source: EnR/IDAE/OFICEMEN/UNESID/ASPAPPEL

**Grafico 27. Tendencias consumo unitario (tep/t) de las ramas industriales intensivas España y UE [7]**

Dividiendo la intensidad energética de la industria en sus componentes, es decir, la intensidad asociada con la demanda eléctrica y térmica de la industria, **la creciente representatividad de la intensidad resultante de la demanda de energía eléctrica es evidente**. Esto es así debido a la **electrificación progresiva de la industria, cuyo consumo eléctrico se ha incrementado en un 22,6% desde 1990, que implica la sustitución progresiva de la electricidad por otros combustibles**. Este fenómeno se observa en la mayoría de los sectores de la industria, especialmente en los relacionados con la alimentación, papel y metalurgia, con un consumo eléctrico anual de más del 2,4%. Sin embargo, las demandas térmicas, principalmente por combustibles de origen fósil, siguen siendo frecuentes en la industria, suponiendo el 70% de toda la demanda. [7]



Source: MINETUR/IDAE

**Grafico 28. Efecto de la electrificación en la industria en España [7]**

Prestando atención a la comparación de la intensidad energética industrial a nivel de la UE, se puede ver que el indicador nacional muestra valores superiores a los promedios europeos, dado que la estructura media de la UE tiende a la integración de las ramas menos intensivas como las vinculadas a los bienes de equipo. [7]

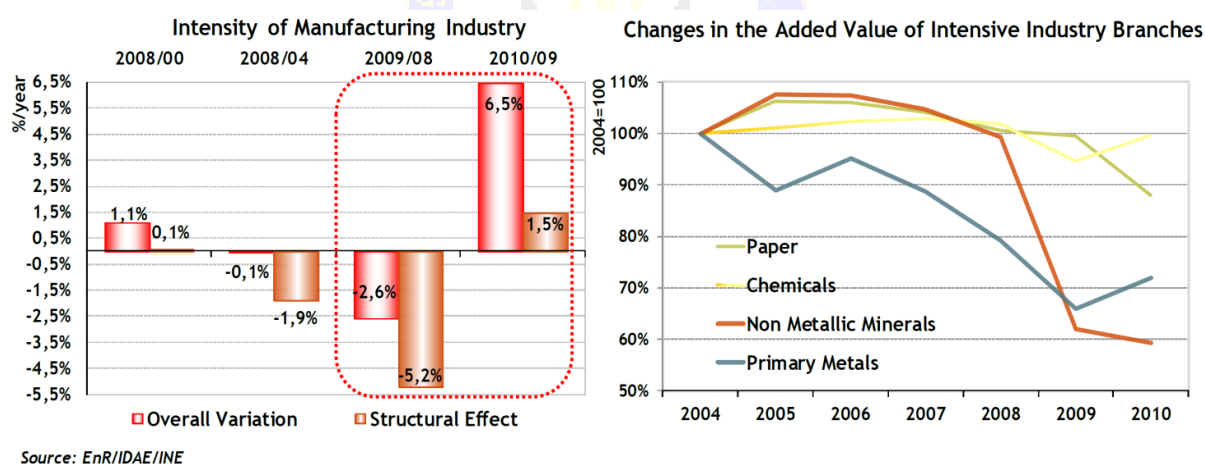
Esto representó una tendencia en la mejora general de la intensidad de la industria de la UE, favorecida por los cambios estructurales en la industria manufacturera. Este hecho encontró una mayor resistencia en la industria nacional. [7]

Un análisis más detallado de los efectos de los cambios estructurales que se produjeron en las ramas de la industria manufacturera es el obtenido por el Método Divisia. Como cuestión de hecho, en el caso de España y tomando el período anterior a la crisis como referencia, algunos cambios estructurales apenas se notaron a nivel de la industria manufacturera, aunque a corto plazo, después del año 2004, algunos cambios comenzaron a producirse con una influencia positiva en la mejora general de la intensidad de la industria manufacturera. [7]

Desde el año 2008 en adelante, donde los efectos de la crisis comenzaron a aflorar, ya en 2009, el fuerte impacto del retroceso en la producción de las instalaciones industriales condujo a una fuerte caída en la intensidad debido a los cambios de tipo estructural. [7]

Este último suceso está presente desde el análisis de la evolución del valor añadido de las ramas más intensivas en la industria manufacturera, que registró una notable caída en 2009 y, por lo tanto, disminuyó su contribución al valor añadido total de la industria manufacturera.

El año 2010 trajo consigo un cambio debido a una recuperación de la actividad, lo cual tuvo una influencia negativa en el efecto estructural. [7]



**Gráfico 29. Tendencias de la intensidad energética en el sector industrial en España y la UE [7]**

Con todo esto, el período 2008-2010 representa un período de anomalía y transición afectado por la crisis, como se puede deducir de la evolución contradictoria de la intensidad energética de la industria manufacturera en 2009 y 2010. [7]





Con los últimos datos publicados en los correspondientes informes realizados por las distintas instituciones gubernamentales y más cercanos a la actualidad, se puede añadir que la demanda energética de la industria en 2012 cayó un 2,8%, alcanzando los 20.756 ktep. Este menor consumo energético responde a la menor demanda observada en 2012 de los productos petrolíferos, especialmente vinculada a las ramas de la industria química y minerales no metálicos. Estas dos fuentes energéticas son responsables del 61,5% de la demanda energética global de petróleo, por lo que la variación en su demanda afecta en gran medida a la demanda global. [8]

La senda de reducción de la actividad económica, iniciada en 2009, parece suavizarse, lo que tiene su reflejo en los perfiles de las caídas más atenuadas de la demanda energética y del índice de Producción Industrial (IPI) a partir del 2009. En 2012 la caída del VAB del 4,4% por encima de la asociada a la demanda, ha supuesto una empeoramiento del 1,7% en la intensidad energética del sector. [8]

Considerando ambas intensidades energéticas –la global y la manufacturera– se observa en 2012 un comportamiento contrapuesto. Así, la industria manufacturera registró una disminución del 2,9% en su intensidad, lo que parece estar asociado a la evolución de la industria de los minerales no metálicos, cuya intensidad se redujo en un 4,9%. Por su parte, el crecimiento del 1,7% de la intensidad de la industria global en 2012 se relaciona con el comportamiento de la construcción, cuya demanda creció por encima del doble, al tiempo que su productividad económica se contrajo. [8]

En los últimos años en el marco de los distintos Planes de Acción de Ahorro y Eficiencia, se han ido introduciendo distintas medidas focalizadas hacia la mejora tecnológica de los procesos y equipamientos del sector industrial, así como hacia la implantación de sistemas de gestión energética. Estas medidas presentan un potencial de ahorro energético significativo, con lo que se espera que contribuyan a reducir la intensidad energética en este sector.

## 2.4 Medidas para el ahorro y la eficiencia energética

En España se han desarrollado diferentes medidas y políticas relacionadas con el ahorro y la eficiencia energética desde los 80 hasta la actualidad, siguiendo en gran parte la senda marcada por la UE, y con distintos niveles de éxito o consecución a lo largo de los años, en concreto en el sector industrial:

### Políticas y medidas en Eficiencia Energética en el Sector Industrial [7]

Code	Title	Status	Type	Starting Year	Semi-quantitative Impact	NEEAP Measure	EU-related Measure
SPA8	Financial help for Energy Efficiency-Law 82/1980 (Ley de Conservación de la Energía 82/1980)	Completed	Financial	1981	Medium	No	No
SPA12	Third Party Financing (Financiación por Terceros)	Ongoing	Financial	1985	Medium	No	No
SPA4	Savings Programme of the Energy Efficiency and Conservation Plan EECF, 1991-2000 (Programa de Ahorro del PAEE 1991-2000)	Completed	Financial	1991	High	No	No
SPA5	Cogeneration Programme of the Energy Efficiency and Conservation Plan EECF, 1991-2000 (Programa de Cogeneración del PAEE 1991-2000)	Completed	Financial	1991	High	No	No
SPA6	Substitution Programme of the Energy Conservation and Efficiency Plan EECF, 1991-2000 (Programa de Sustitución del PAEE, 1991-2000)	Completed	Financial	1991	Medium	No	No
SPA7	Voluntary Cooperation Agreements with the Industrial Sector (Acuerdos Voluntarios con el Sector Industrial)	Completed	Co-operative Measures	1994	Medium	No	No
SPA1	Initiative towards the Support of Technology, Security and Industrial Quality (ATYCA)	Completed	Financial	1997	Low	No	No
SPA13	IDAE-ERDF Programme for SME's (Programa IDAE-FEDER para PYMEs)	Completed	Financial	1997	Medium	No	No
SPA2	ICO-IDAE Financing Line for Renewable Energies and Energy Efficiency Projects	Completed	Financial	2000	High	No	No
SPA3	Plan for the Promotion of Renewable Energies 2000-2010 (Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010)	Completed	Financial	2000	High	No	No
SPA14	Action Plan 2005-2007: Voluntary Agreements	Completed	Co-operative Measures	2005	Medium	Yes	No

SPA15	Action Plan 2005-2007: Energy Audits.	Completed	Information/ Education/ Training	2005	High	Yes	No
SPA16	Action Plan 2005-2007: Public Support Program	Completed	Financial	2005	High	Yes	No
SPA19	Action Plan 2011-2020: Energy Audits	Ongoing	Information/ Education/ Training	2011	High	Yes	No
SPA20	Action Plan 2011-2020: Improvement in the technologies of equipment and processes (BAT).	Ongoing	Financial	2011	High	Yes	No
SPA22	Action Plan 2011-2020: Establishment of energy management systems	Ongoing	Financial, Legislative/ Informative	2011	High	Yes	No
SPA23	Aids to SMEs and large companies in the industrial sector	Ongoing	Financial	2014	High	Yes	No

**Tabla 1. Políticas y medidas tomadas en relación a la Eficiencia Energética en el sector industrial en España [7]**

Las medidas más significativas desarrolladas en este sentido se recogen en los distintos Planes Nacionales de acción de Eficiencia Energética que persiguen crear un marco común para el fomento de la eficiencia energética dentro de la Unión Europea, estableciendo acciones concretas para garantizar la consecución de los objetivos establecidos de ahorro, eficiencia energética y emisiones de CO<sub>2</sub> para el 2020 por parte de los Estados Miembros, y que se reflejan a nivel particular en dichos planes de acción nacional.

El primero de estos planes de acción se reflejó en la aprobación de la **Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012**, lo que supuso un punto de inflexión en las políticas de ahorro energético y en el nivel de ambición de los programas y medidas puestos en marcha anteriormente. [9]

El segundo plan de acción nacional aprobado fue el **Plan Nacional de acción 2011-2020** siguiendo la directiva Europea 2006/32/EC y dando continuidad al primer plan de acción. En este plan de acción 2011-2020 se presentaron una serie de medidas y acciones coherentes con los escenarios de consumo de energía primaria y final incluidos en otros instrumentos de planificación, en términos de energías renovables y planificación en los sectores del gas y eléctrico. Este plan plantea un ahorro del 2% interanual en el periodo 2010-2020 lo que cumpliría con el objetivo del 20% de ahorro marcado por la UE, basado éste, sobre todo, en la promoción de la cogeneración y el cambio en el mix energético con la promoción del uso de energía proveniente de fuentes renovables. La consecución de estos objetivos sería posible con la aplicación de ayudas económicas gestionadas por el sector público además de las medidas regulatorias. [9]

Este Plan establece un objetivo de ahorro de energía final para el 2020 de 4.489 Mtep para el Sector Industrial (equivale al 25% del ahorro total de energía) y las medidas para la consecución de éste son:



- Auditorías Energéticas (SPA19)

La ejecución de Auditorías Energéticas determinará el potencial de ahorro energético en las empresas, dondequiera que tengan lugar. Por otra parte, esta medida facilitará la toma de decisiones en relación con las inversiones de ahorro de energía, y también ayudará a establecer la evaluación comparativa de los procesos auditados. Los mecanismos de acción que harán posible los objetivos de ahorro energético previstos serán los siguientes: incentivos económicos para el desarrollo de las auditorías energéticas, vinculados a la ejecución del proyecto que analiza los resultados factibles. [9]

- Desarrollo en las tecnologías de equipamiento y procesos (BAT) (SPA20)

Esta es una medida prioritaria, cuyo objetivo es facilitar la viabilidad económica de las inversiones en el ahorro de energía en el sector de la industria, con el fin de alcanzar el potencial de ahorro identificado en el Plan de Acción 2011-2020. Esta medida incluye todas las acciones centradas en la implementación de la energía y del medio ambiente MTD (Mejores Tecnologías Disponibles). Esta medida deberá definir los mecanismos necesarios para la aplicación de las MTD con el fin de alcanzar los objetivos energéticos establecidos por el Plan de Acción de Eficiencia Energética 2011-2020. Los mecanismos a tener en cuenta son los siguientes:

- Incentivos económicos para llevar a cabo la inversión en proyectos de ahorro de energía relacionados con las nuevas tecnologías y el uso de los residuos.
- Legislativos: Normativas y desarrollos regulatorios para establecer un marco favorable para consolidar e implementar las mejores mejoras tecnológicas orientadas a este propósito. [9]

- Establecimiento de sistemas de gestión energética (SPA22)

El objetivo de esta medida es el establecimiento de los elementos de medición y control, así como los sistemas de análisis de las variables del proceso de producción. La medida significa establecer los mecanismos necesarios para establecer sistemas de gestión de energía. Los mecanismos de acción que harán que los posibles objetivos de ahorro previstos se cumplan serán principalmente de carácter legislativo, políticos o en la reglamentación, para establecer un marco favorable para consolidar e implementar las mejoras tecnológicas orientadas a este propósito. Esta medida está dirigida a los titulares de todas las instalaciones industriales consumidoras de energía, inclusive todas las asociaciones de actividad, que conforman el Sector Industrial.

Para estos propósitos serán necesarias inversiones por un valor 8.060M€ y ayudas públicas por un valor 750 M€. [9]

El último **Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020** desarrollado, sigue la nueva directiva 2012/27/UE que establece objetivos adicionales de ahorro acumulado para el periodo 2014-2020 muy exigentes (supondría una reducción del 26,4% del consumo energético en 2020). Este plan expone las medidas de mejora de la eficiencia energética ya llevadas a cabo y las previstas a ejecutar, poniendo en marcha un sistema de obligaciones de eficiencia energética sobre las empresas comercializadoras de energía, así como otras medidas de naturaleza fiscal, reglamentaria, formación, campañas de comunicación, etc. Adicionalmente se plantea la creación de un Fondo Nacional de Eficiencia Energética.

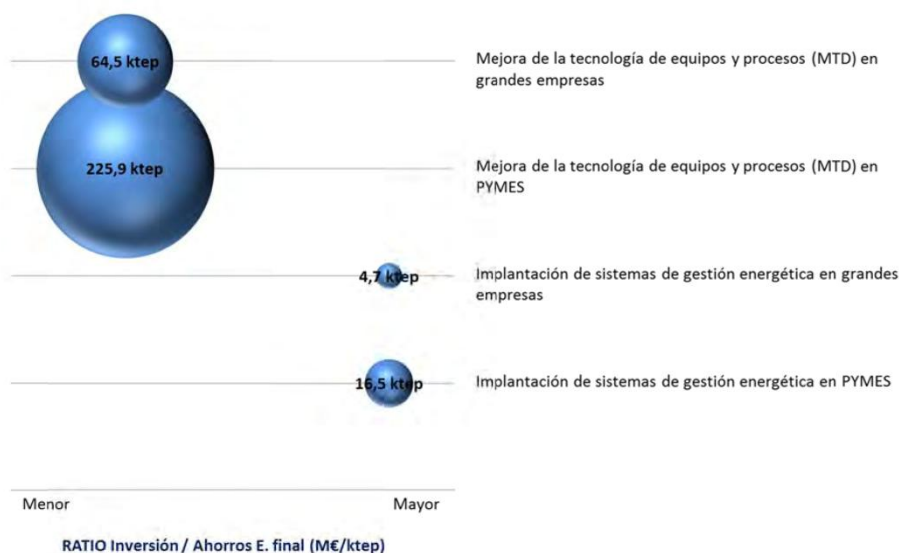
En particular, la contribución del sector industrial al objetivo de ahorro energético en este plan se reparte por sectores de actividad desagregando el objetivo total e imputando un ahorro indicativo a cada uno. [10]

Las medidas de eficiencia energética se agrupan en 2, comprendiendo tanto grandes empresas como PYMES, lo que da lugar a una desagregación en 4 sub-medidas. Las medidas propuestas son:

- Mejora de la tecnología de equipos y procesos, para acciones con una inversión mínima subvencionable de € 75.000.
- Implantación de sistemas de gestión energética, para acciones con una inversión mínima subvencionable de € 30.000.

Este programa ha sido asignado inicialmente con un presupuesto máximo que asciende a 49.016.421 €, procedente del Fondo de Eficiencia Energética Nacional, creado por la Ley 18/2014, de 15 de octubre, por la que se aprueban medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia. Las ayudas de este programa pueden ser co-financiadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) en el marco del Programa Operativo para el Crecimiento Sostenible 2014-2020. Las ayudas concedidas en virtud del Programa se implementará en forma de subsidio sin compensación, con un importe máximo del 30% de la inversión subvencionable correspondiente y un importe máximo de la inversión subvencionable por aplicación de 4 M€. [9]

	Ahorro de energía final (ktep/año)
<b>INDUSTRIA</b>	<b>314,90</b>
<b>Implantación de sistemas de gestión energética</b>	<b>21,22</b>
SGE en PYMES	16,51
SGE en grandes empresas	4,71
<b>Mejora de la tecnología de equipos y procesos (MTD)</b>	<b>290,37</b>
MTD en PYMES	225,92
MTD en grandes empresas	64,45
<b>Medidas de comunicación e información</b>	<b>3,31</b>



## 2.5 Posibilidades de optimización energética en accionamientos

En la actualidad, aproximadamente el 70% del consumo eléctrico en la industria es producido por motores eléctricos que accionan distintas aplicaciones o máquinas, se ha determinado que aproximadamente el 30% de los accionamientos eléctricos podrían funcionar de manera más eficiente proporcionando así un potencial de ahorro del 30 - 50 %.

La operación y conservación de los motores en la industria, representa uno de los campos más fértiles de oportunidades en el ahorro de energía.

Las aplicaciones con mayor potencial de ahorro son bombas, ventiladores, compresores, cintas transportadoras, mezcladoras, molinos y extrusoras.

Las tarifas eléctricas para la industria, además del término por consumo de energía (kWh), tienen un término por disponibilidad máxima (kW) por lo tanto para poder ahorrar energía eléctrica necesitaremos conocer:

1. ¿Cuánto gastamos? Para determinar la cantidad máxima de demanda.
2. ¿Dónde gastamos? Para poder determinar qué dispositivos están actuando en los momentos de máxima demanda.
3. ¿Cuándo gastamos? Para conocer los momentos de máxima demanda y adecuarlos a las tarifas más favorables.

De esta forma, si nosotros somos capaces de determinar, en los momentos de máxima demanda energética, los elementos que están causando esa excesiva demanda y predecir qué actividades podrían ser suprimidas durante estos instantes, o desplazarlas a otro momento menos crítico, tendremos la oportunidad de poder reducir el dimensionado de la instalación y no sufrir penalizaciones en la factura por consumo superior a lo contratado. Esto lo podremos realizar usando dispositivos que sean capaces de monitorizar el consumo de cada elemento de carga, y al mismo tiempo que sean capaces de transferir esta información a un sistema de gestión superior para que sea este el encargado de procesar los datos y de determinar cuáles son las condiciones óptimas de funcionamiento.

Es por esto que uno de los pasos para una optimización energética de los accionamientos es el enfoque en la gestión energética de los mismos, buscando la identificación de los sistemas de accionamientos ineficientes, cuya mejora aportará una reducción significativa y sostenida del consumo de energía, los costes de energía y el impacto medioambiental.

La Gestión Energética permite mejorar y analizar sistemática y continuamente el consumo de energía, se puede definir como el desarrollo e integración de un sistema para recogida, análisis, documentación y visualización de datos energéticos así como regulación y control del consumo energético. Para ello se pueden utilizar sistemas que mejoren la transparencia de la demanda energética y la calidad de la misma obteniendo, procesando y supervisando los datos energéticos procedentes de todos los sistemas y equipos de automatización y control de la planta o aplicación.

El uso de analizadores de red e interruptores de potencia comunicables permite la lectura, visualización y registro de cada centro de consumo de forma individualizada permitiendo la detección precisa y exacta de todos los datos de consumo en todo el sistema de distribución de energía haciendo necesaria la información adecuada en tiempo real para la toma de decisiones ante una emergencia o incluso un alto consumo energético.



Algunas de las ventajas proporcionadas por este tipo de sistemas para la gestión energética serían:

- **Conocimiento exacto de los flujos de energía/consumos.**  
Esto permite detectar ahorros potenciales, planificar ampliaciones, renegociar el contrato de suministro en base a datos fiables y aumentar la disponibilidad del sistema.
- **Asignación de cada punto de consumo a un centro de coste.**  
Configurando las distintas tarifas: pico, valle, fin de semana, etc.
- **Gestión de carga.**  
Como la mayoría de contratos de suministro tienen en cuenta la máxima potencia requerida, es importante controlar la demanda para mantenerla dentro de los límites deseados, evitando penalizaciones.
- **Asociación de consumos a lotes de producción.**
- **Sistema de informes.**

El ahorro de energía en los motores eléctricos, significa trabajar y vigilar de una forma más eficiente, aunándolo con unas instalaciones eléctricas y mecánicas en un óptimo estado, y al uso de protecciones y un dimensionado correcto de las instalaciones.

Los accionamientos eléctricos se dividen según la aplicación en accionamientos de velocidad constante o variable, tradicionalmente la mayor parte son accionamientos de velocidad constante o fija. En estos accionamientos donde el motor eléctrico arranca y se mantiene en funcionamiento a velocidad constante a través de un arranque directo o un arranque estrella-triángulo, las posibilidades de optimización energética, debido a problemas habituales como sacudidas mecánicas en las máquinas y picos de tensión e intensidad en la línea de alimentación provocando grandes consumos en el momento del arranque de los motores, se pueden conseguir mediante:

Las **protecciones y control de motores**:

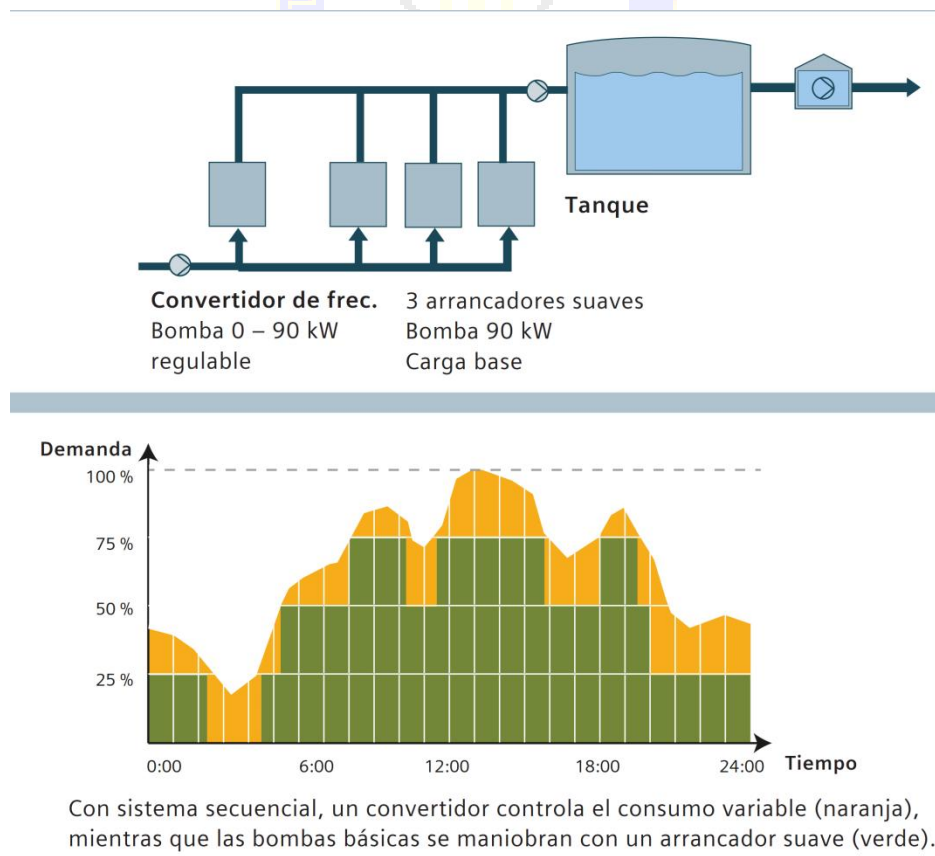
- Todos los motores requieren una protección contra sobrecarga y contra cortocircuito (guardamotor), mediante un sistema flexible y modular para motores de baja tensión con velocidad fija se supervisa el estado de los elementos de carga, y a la vez se analiza la red en el consumidor, comunicando todos estos datos a su vez a los sistemas de gestión superiores.

Los **arrancadores de motor** gracias a:

- Menores pérdidas de potencia, reducción de hasta un 60% de pérdidas de potencia intrínsecas por la limitación de la corriente y el par de arranque.
- Menores consumos energéticos en el arranque de los motores a través de arrancadores que establecen una curva de arranque progresiva del motor, mediante el control progresivo de la tensión de alimentación, hasta alcanzar la velocidad fija con una aceleración suave, aportando un menor consumo de intensidad en el arranque de los mismos, en torno a 3 veces inferior al consumo del motor eléctrico con alimentación directa de red, influyendo positivamente en el comportamiento en servicio de los motores y máquinas accionadas (proceso más eficiente y con menores incidencias) y alargando la vida útil y robustez de las aplicaciones.

- Menores pérdidas generadas por aumento de temperatura en armarios eléctricos, permitiendo una mayor densidad de instalación en los armarios así como una reducción de la potencia de refrigeración necesaria para los mismos (por cada amperio que circula a través de un tiristor controlado, se pierden habitualmente 3 W de calor generado, por lo tanto para un motor de 250 kW a 400 V, por ejemplo, se generan unas pérdidas térmicas próximas a los 1500 W, que pasan a incrementar la temperatura).
- Capacidad de comunicación de estos controles de motor con los sistemas de control y gestión superior, aportando datos de energéticos de consumos para la detección de los flujos energéticos e identificación de los mayores consumidores. Posibilidad de coordinar globalmente los accionamientos durante las pausas de la producción y desconectarlos de forma centralizada.

Un ejemplo de esto sería una aplicación de bombeo de agua con control en cascada (conexión secuencial) de las bombas que componen el sistema, donde se accionan varias de las bombas en función de la demanda de caudal del sistema a través de arrancadores suaves para hacer un ajuste "grueso" (demanda básica), y una de las bombas se acciona a través de un variador de frecuencia para hacer el "ajuste fino" (demanda variable). Esta solución es óptima para ajustarse a los cambios de carga, reduciendo el número de arranques y paradas en la instalación, y tiene una elevada eficiencia energética debido al ahorro de consumo por la reducción de los picos de corriente en el arranque de hasta un 60% pudiendo mejorar el dimensionamiento de la acometida y transformador de entrada, también proporcionando otras ventajas como la eliminación de sacudidas mecánicas en el arranque o golpe de ariete en las bombas, aumentando la vida útil de la instalación y reduciendo los costes de mantenimiento.





Mediante la **compensación de energía reactiva**:

- El consumo de reactiva hace que se tenga menor capacidad en la red eléctrica para la demanda de otros usuarios, la existencia de la energía reactiva no es asumible desde un punto de vista económico por lo tanto la corrección del factor de potencia se realiza por razones puramente económicas y la compensación de la energía reactiva permite una disminución considerable de la factura eléctrica.

La potencia reactiva es necesaria para producir el flujo electromagnético necesario para el funcionamiento de elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración, etc.

El motor es una carga inductiva por tanto demanda Potencia Reactiva que puede ser compensada mediante baterías de condensadores.

Con una compensación individual los condensadores son instalados por cada carga generando esta compensación de forma local en el propio motor, la mayor compensación se produce cuanto más cerca del consumidor se coloque la batería de condensadores y los condensadores son puestos en marcha sólo cuando el motor está trabajando.

Esta compensación del factor de potencia conlleva una mayor potencia disponible en la instalación, evitar penalizaciones de hasta un 120% en la factura eléctrica, disminuir la sección de los cables de alimentación, no sobredimensionar transformadores, generadores, líneas de distribución y obtener menores caídas de tensión.

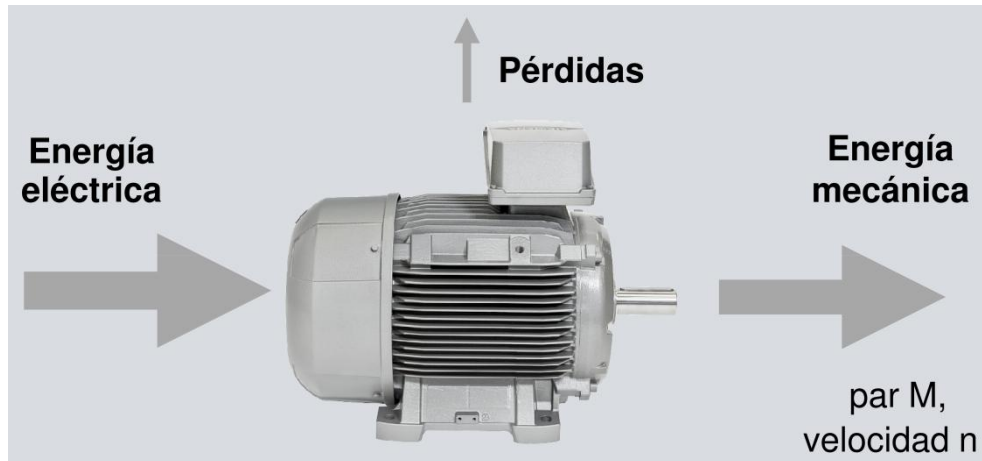
En las aplicaciones de velocidad variable los variadores de velocidad aportan múltiples ventajas y es que los ahorros energéticos que permiten, se producen en todas las aplicaciones que necesiten variar su velocidad, ya que estos accionamientos se adaptan a los procesos y por lo tanto el consumo energético se minimiza produciéndose sólo y cuando sea necesario.



## 3. Eficiencia energética en motores eléctricos

### 3.1 Descripción y funcionamiento

Un motor eléctrico es una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica gracias a las interacciones electromagnéticas de sus partes activas.



Podemos dividir los motores eléctricos en varios grupos:

Según diseño:

- Motores de corriente continua: Motores eléctricos con la capacidad de regular su velocidad desde vacío hasta plena carga sin necesidad de elementos de control adicionales, fácil control de posición y paro que les aportan mucha versatilidad. Estos motores han sido ampliamente utilizados en la industria tradicionalmente pero en la actualidad su uso ha disminuido de manera importante, debido a su alto coste de mantenimiento y a la posibilidad del control de velocidad de motores asíncronos con un menor coste y mayor rendimiento.
- Motores de corriente alterna:
  - Síncronos: Motores eléctricos que giran a velocidad constante igual a la velocidad de sincronismo definida por la frecuencia de la red de alimentación, presentan ventajas en aplicaciones de gran potencia por su alto rendimiento.
  - Asíncronos o de inducción: Son los motores eléctricos más robustos y con menores costes de fabricación en la actualidad, aproximadamente el 90% de los motores fabricados son motores asíncronos con rotor de jaula o cortocircuitado. Sus principales ventajas son una construcción simple, bajo peso, mínimo volumen, bajo coste y mantenimiento inferior al de cualquier otro tipo de motor eléctrico.

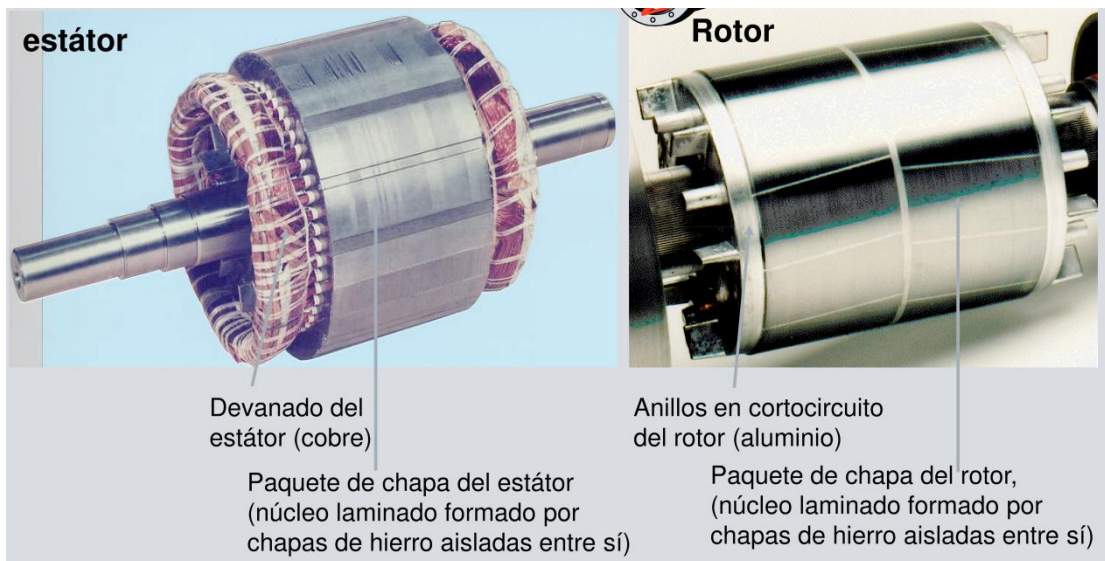
Según su valor de tensión de alimentación:

- Motores de baja tensión:  $U < 1000 \text{ V}$
- Motores de media o alta tensión:  $U > 1000 \text{ V}$

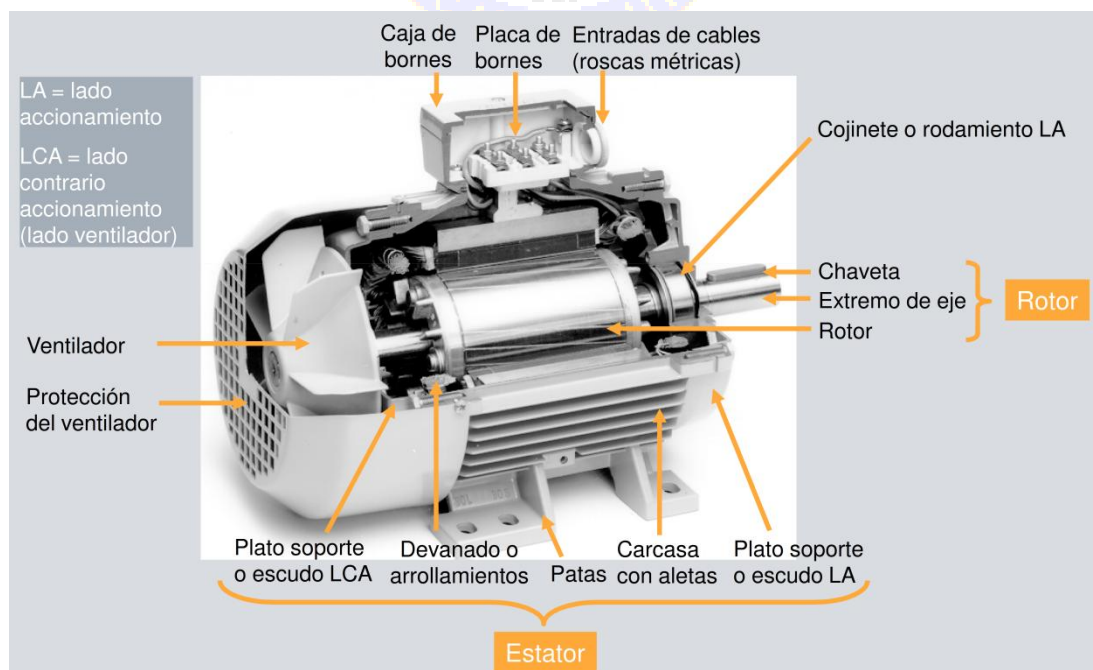
Los motores asíncronos de inducción, base del estudio de este proyecto, se rigen por el siguiente **principio de funcionamiento:**

El devanado del estator es alimentado por la red trifásica ( $U$ ,  $f$ ) lo que produce que circule una corriente por las bobinas del mismo y se genere un campo magnético giratorio a la velocidad de sincronismo  $n_s$ , este campo magnético giratorio se transmite por el entrehierro del núcleo magnético del estator al del rotor lo que origina un flujo que induce corrientes en el rotor que interactúan con el campo magnético del estator. En cada conductor del rotor se produce una fuerza electromotriz que seguirá el campo magnético del estator a una velocidad de deslizamiento  $s$  que da lugar al par motor y al giro del eje.

Las partes activas de un motor asíncrono de inducción o de jaula de ardilla son:



y el resto de partes de un motor asíncrono serían:







Las características principales o datos necesarios para la selección de un motor eléctrico asíncrono para una aplicación son:

- Exigencias de la carga a accionar y condiciones de servicio: Potencia requerida por la carga, velocidad del motor, par, esfuerzos mecánicos, ciclos de operación.
- Alimentación del motor: Tensión y frecuencia de la red
- Montaje del motor: Forma constructiva del motor
- Condiciones ambientales: Temperatura, altitud, agresividad del ambiente, zona de instalación con riesgo de explosión
- Características específicas del motor para la aplicación

Dentro de estas características los cuatro parámetros fundamentales para seleccionar un motor eléctrico asíncrono serían:

- Potencia requerida [estandarizada] (kW) o Par requerido (Nm)
- Velocidad de funcionamiento (rpm)
- Alimentación del motor: Tensión (V) y frecuencia (Hz)
- Forma constructiva (B3, B5, B35, V1...)



## 3.2 Normativa sobre eficiencia en motores eléctricos

La normativa sobre eficiencia energética en motores eléctricos ha evolucionado en los últimos años con distintos acuerdos y reglamentaciones a nivel europeo y mundial como se describe a continuación:

A principios de los años 70, los EE.UU. introdujeron medidas para reducir su dependencia de las importaciones en el campo de la energía y para reducir la emisión de CO<sub>2</sub>. Esto dio lugar a leyes que prescriben niveles mínimos de rendimiento para motores eléctricos.

La ley EPACT, la cual tomó fuerza el 25 de octubre de 1997, estipulaba los niveles mínimos de rendimiento para los motores que eran importados a EE.UU.

La ley forma parte de la EPCA (Energy Policy and Conservation Act) y se aplicaba a:

- motores de inducción trifásicos estándares de 2, 4 y 6 polos
- en el rango de potencias de 1 a 200 HP (0,75 a 150 kW)
- motores fabricados después del 25 de octubre de 1997
- rendimiento determinado de acuerdo a IEEE 112 B
- condiciones de etiquetado y certificación de finales de 1999
- clasificación de los motores en 5 categorías
- etiquetado y certificación desde 2002: CC 032A

	EPACT - EE.UU.	CEMEP - Europa
<i>Estado</i>	Rendimiento mínimo legalmente prescrito	
<i>Motores cubiertos</i>	Motores de jaula de ardilla de 2, 4 y 6 polos a 60 Hz y con potencias de 1 a 200HP (0.75 to 150kW)	Motores de jaula de ardilla de 2 y 4 polos a 50 Hz y potencias de 1,1 a 90 kW
<i>Rendimiento determinado de acuerdo a</i>	IEEE 112 B	Procedimiento de pérdidas individuales según IEC 60034-2
<i>Rendimiento</i>	Valor nominal $\eta_N$ según NEMA MG1	Tolerancia según IEC 60034-1
<i>Marca requerida</i>	Placa de características con el rendimiento ( $\eta_N$ ) y CC032A	– Clase de rendimiento en la placa de características del motor – $\eta_N$ , $\eta_{3/4}$ y clase de rendimiento en la documentación
<i>Excepciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Motores &lt;1 HP y &gt; 200 HP</li> <li>– Motores &gt; 6 polos</li> <li>– Tensiones y frecuencias diferentes a 230V, 460 V / 60 Hz</li> <li>– Motores con brida</li> <li>– Motores/construcciones especiales</li> <li>– Motores de polos conmutables</li> <li>– Motores con freno, monofásicos</li> <li>– Accionamientos de velocidad variable</li> <li>– Motores autoventilados</li> <li>– Motorreductores</li> <li>– Servicios intermitentes</li> <li>– Motores reacondicionados total o parcialmente</li> <li>– NEMA - diseño C y D (es decir, <math>M_A &gt; M_{MAX}</math>)</li> <li>– etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Motores &lt; 1,1 kW y &gt; 90 kW</li> <li>– Motores &gt; 4 polos</li> <li>– Voltajes y frecuencias diferentes a 400 V / 50 Hz</li> <li>– Motores o construcciones especiales</li> <li>– Motores de polos conmutables</li> <li>– Motores con freno, monofásicos</li> <li>– Accionamientos de velocidad variable</li> <li>– Motores autoventilados</li> <li>– Motorreductores compactos</li> <li>– Servicios intermitentes</li> <li>– Condiciones ambientales especiales</li> <li>– Motores Ex</li> <li>– Motores de eje hueco</li> <li>– etc.</li> </ul>

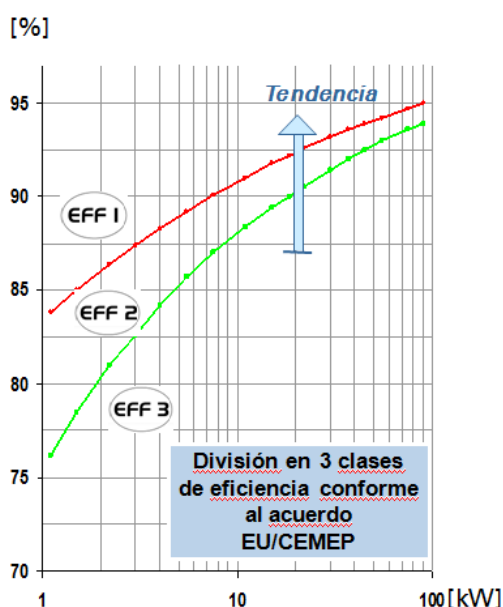
Tabla 2. Requerimientos eficiencia energética motores EPACT / CEMEP

Desde mediados de los 90, tras el ejemplo fijado por los EE.UU. con la ley EPCAct, la UE tomó la iniciativa en cooperación con el CEMEP<sup>1)</sup> (36 fabricantes participaron), como el primer paso importante para promocionar la clasificación de eficiencia en motores eléctricos, por el cual introdujeron medidas para mejorar los rendimientos o eficiencias de los accionamientos eléctricos así como la creación de un sistema de clasificación que permitiese a fabricantes y usuarios de motores eléctricos tener información sobre la eficiencia de estos componentes, este acuerdo voluntario fijaba el objetivo de los fabricantes participantes en la reducción de las ventas o cuota de mercado de motores de baja eficiencia (eff 3) en los próximos años, con la motivación principal de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esta iniciativa de 1999 se fijó en el acuerdo voluntario firmado en Agosto de 2003.

CEMEP prescribe la clasificación de rendimientos para motores de 2 y 4 polos con potencias entre 1,1 y 90 kW. Los rendimientos se dividen en tres clases, de modo que dos curvas características definen las tres clases:

- "eff1" (high efficiency, alto rendimiento)
- "eff2" (improved efficiency, rendimiento mejorado)
- "eff3" (standard efficiency, rendimiento estándar)

<sup>1)</sup> CEMEP = European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics;



Potencia (kW)	2 polos		4 polos	
	Eff2 / Eff3	Eff1 / Eff2	Eff2 / Eff3	Eff1 / Eff2
1,1	76,2	82,8	76,2	83,8
1,5	78,5	84,1	78,5	85,0
2,2	81,0	85,6	81,0	86,4
3	82,6	86,7	82,6	87,4
4	84,2	87,6	84,2	88,3
5,5	85,7	88,6	85,7	89,2
7,5	87,0	89,5	87,0	90,1
11	88,4	90,5	88,4	91,0
15	89,4	91,3	89,4	91,8
18,5	90,0	91,8	90,0	92,2
22	90,5	92,2	90,5	92,6
30	91,4	92,9	91,4	93,2
37	92,0	93,3	92,0	93,6
45	92,5	93,7	92,5	93,9
55	93,0	94,0	93,0	94,2
75	93,6	94,6	93,6	94,7
90	93,9	95,0	93,9	95,0

Tabla 3. Rendimiento motores Eff1, Eff2 y Eff3 según CEMEP

La eficiencia era determinada por el método de las pérdidas segregadas de acuerdo a la normativa IEC 60034-2. [15]

Se acordó el marcaje de los motores eléctricos tanto en la placa de características como en el embalaje con el logo de la clase de eficiencia correspondiente y también la indicación del valor de rendimiento a distintos valores de carga en los catálogos de los fabricantes.

Motores de 4 polos: desde el 01/07/2000

Motores de 2 polos: desde el 01/01/2001

Rango de potencias: 1,1 a 90 kW

Tensión: 400 V /50 Hz

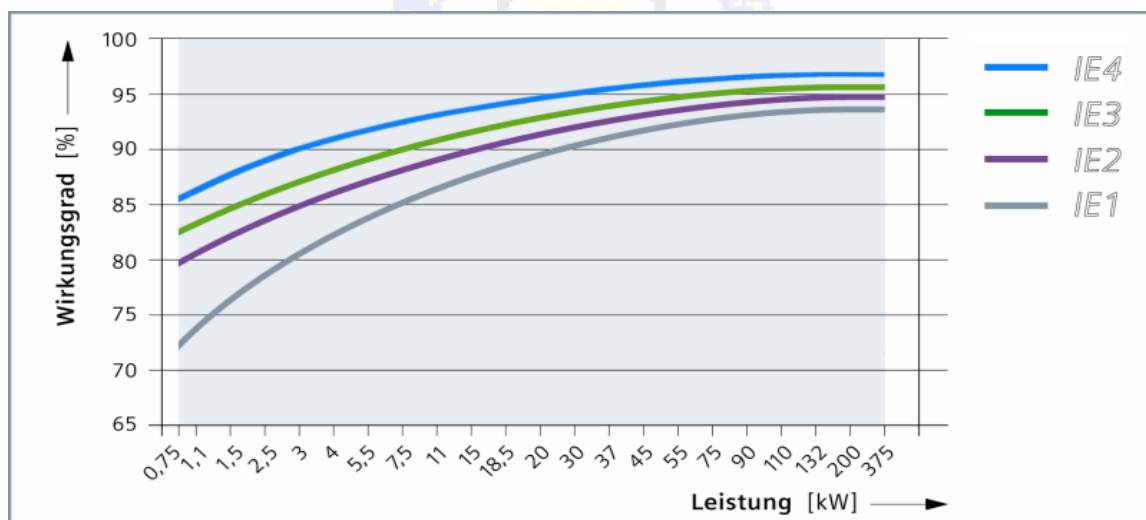
Motores estándar

El 6 de Julio de 2005, la UE fija la directiva 2005/32/CE (también conocida por EuP) por la que se insta a un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía, como son los motores eléctricos, que será la base de las siguientes normativas relativas a la eficiencia energética de estos productos. [12]

Estas medidas y acuerdos llevaron a la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) a desarrollar una norma común internacional que reemplazaría a todos los diferentes sistemas nacionales. Las normas IEC 60034-2-1:2007 y 60034-30:2008 armonizaron a nivel mundial el criterio de medición del rendimiento o eficiencia de los motores de baja tensión (<1000V) con rotor de jaula de 0,75 a 375kW de 2, 4 y 6 polos, y fijaron las actuales clases de eficiencia (IE= International Efficiency), que de menor a mayor rendimiento son las siguientes: [15]

Sin clasificación	Por debajo de la eficiencia estándar	(equivalente a EFF3 en antigua clasificación)
IE1	Eficiencia estándar	$0,75 \text{ kW} \leq P \leq 375 \text{ kW}$
IE2	Alta eficiencia	$0,75 \text{ kW} \leq P \leq 375 \text{ kW}$
IE3	Eficiencia Premium	$0,75 \text{ kW} \leq P \leq 375 \text{ kW}$
IE4	Eficiencia Súper Premium	En desarrollo en 2008

**Tabla 4. Clases de eficiencia en motores según IEC 60034-30:2008**



**Gráfico 30. Valores de rendimiento en función de la potencia para clases de eficiencia IE**

Recientemente la IEC 60034-30:2008 ha sido reemplazada por la IEC 60034-30-1:2014 la cual ha extendido el alcance de la norma anterior, cubriendo un rango de potencias de 0,12 kW a 1000 kW.



Un paso posterior a nivel Europeo tras el cambio de las normas internacionales fue el desarrollo de los requerimientos de diseño ecológico para motores eléctricos, con la intención de mejorar la penetración de los motores de alta eficiencia en el mercado Europeo y por consiguiente el ahorro energético y la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> que tendría asociado, por eso el 22 de Julio de 2009 se firmó la directiva 640/2009 (basada en la Directiva 2005/32/CE) que marca los requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos y obliga al cumplimiento de unos mínimos rendimientos en los motores suministrados por los fabricantes. [13]

Más recientemente la directiva 640/2009 ha sido rectificada por la directiva 4/2014 con el fin, en base a la experiencia adquirida con la aplicación del Reglamento 640/2009, de evitar efectos imprevistos en el mercado de los motores y en el rendimiento de los productos contemplados por dicho Reglamento, ya que la evolución reciente en el mercado de los motores eléctricos ha dado lugar a cambios en los valores límite aplicados a la altitud, a las temperaturas máxima y mínima del aire ambiente y a las temperaturas del agua del refrigerante aplicados para considerar que un motor funciona en condiciones extremas. [14]



### 3.3 Comparación entre nuevas y antiguas clases de eficiencia

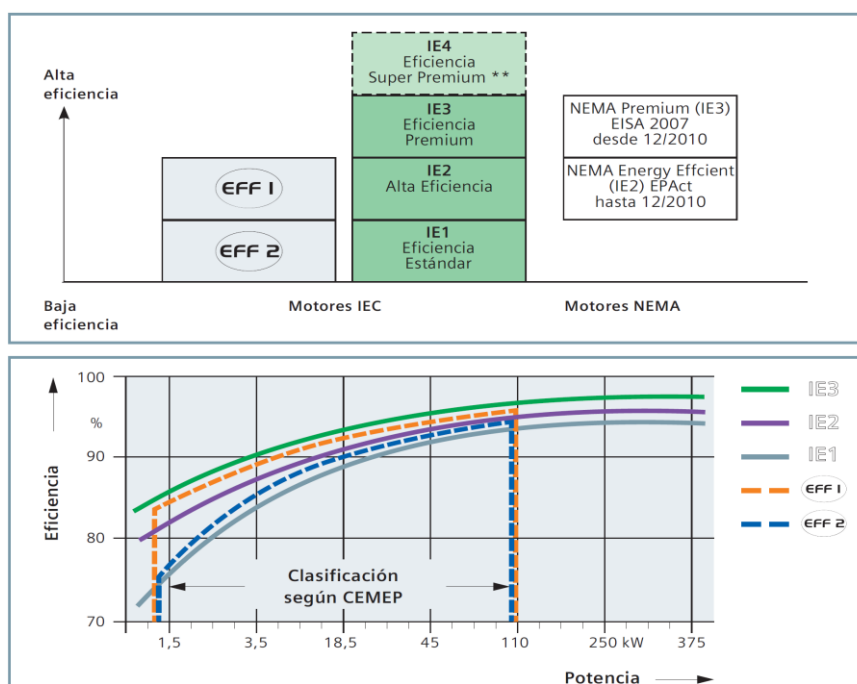


Gráfico 31. Comparación antiguas y nuevas clases de eficiencia en motores eléctricos

A nivel europeo las clases de eficiencia para motores eléctricos actuales según la directiva vigente 640/2009 (EuP) / EC 4/2014 o anteriores según el acuerdo voluntario de la CEMEP, difieren básicamente, además de la nueva nomenclatura, en los métodos de medición de las pérdidas y por lo tanto del rendimiento del motor ya que se basan en la norma IEC 60034-2:1996 que fue modificada en 2007 (IEC 60034-2-1:2007) la cual incluyó las pérdidas por dispersión de carga (pérdidas dependientes de la carga) y los métodos para su cálculo de manera indirecta o realizando medidas y no una estimación de las mismas, de un 0,5 % de la potencia nominal del motor. Esto significa que los valores nominales de eficiencia decrecen de EFF1 a IE2 o de EFF2 a IE1, respectivamente, aunque realmente no cambia nada en el motor, ni técnica ni físicamente.

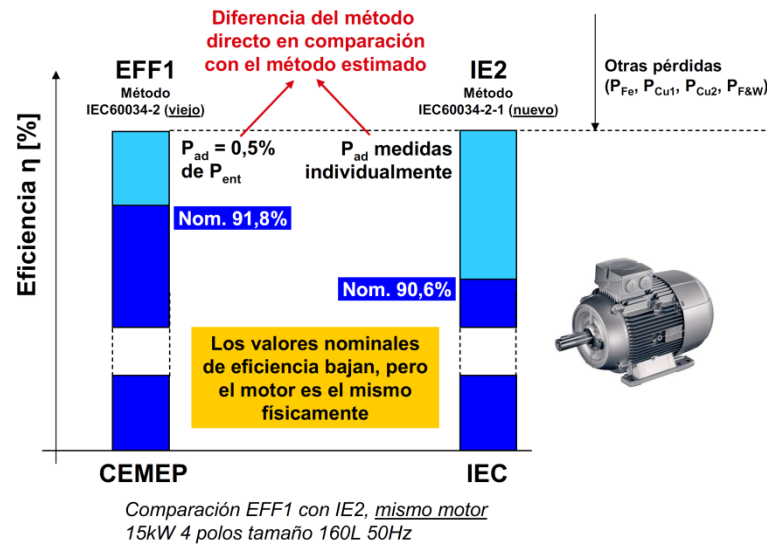
Anteriormente:  $P_{SLL} = 0,5\%$  de las pérdidas totales

Ahora:  $P_{SLL} =$  medición individual

\* $P_{SLL}$  = pérdidas adicionales o de flujo disperso (Stray Load Losses)

Antigua EN/IEC 60034-2:1996	Nueva EN/IEC 60034-2-1:2007-09
Método directo	Método directo
Método indirecto: - SLL estimado al 0,5% de potencia de entrada a plena carga	Método indirecto: - SLL determinada por medición directa - SLL estimada al 2,5%-0,5% de la potencia de entrada a plena carga - Eh star – método indirecto alternativo con cálculo matemático de SLL
Pérdidas determinadas a 95°C en el bobinado del estator y del rotor	Pérdidas determinadas a 25°C+elevación de temperatura medida en el bobinado del estator

Tabla 5. Comparación métodos cálculo de pérdidas en motores según IEC 60034-2-1



Si nos fijamos a continuación en los valores de rendimiento marcados para las diferentes clases de eficiencia, anteriores (eff1, eff2) y actuales (IE1, IE2, IE3) en un motor de la misma potencia en niveles de clase de eficiencia equivalentes, veremos que efectivamente en las clases de eficiencia actuales el valor de rendimiento es menor a las antiguas clases de eficiencia porque el método de medición de las pérdidas, y por lo tanto del rendimiento, ha cambiado siendo actualmente según la norma que lo rige y la clasificación energética, mucho más real y con menor incertidumbre ya que no se estima.

Table 1: Class definition for 4-pole motors and 2-pole motors

kW	Class definition for 4-pole motors			Class definition for 2-pole motors		
	eff3	eff2	eff1	eff3	eff2	eff1
	$\eta_N$			$\eta_N$		
1.1	< 76.2	>= 76.2	>= 83.8	< 76.2	>= 76.2	>= 82.8
1.5	< 78.5	>= 78.5	>= 85.0	< 78.5	>= 78.5	>= 84.1
2.2	< 81.0	>= 81.0	>= 86.4	< 81.0	>= 81.0	>= 85.6
3	< 82.6	>= 82.6	>= 87.4	< 82.6	>= 82.6	>= 86.7
4	< 84.2	>= 84.2	>= 88.3	< 84.2	>= 84.2	>= 87.6
5.5	< 85.7	>= 85.7	>= 89.2	< 85.7	>= 85.7	>= 88.6
7.5	< 87.0	>= 87.0	>= 90.1	< 87.0	>= 87.0	>= 89.5
11	< 88.4	>= 88.4	>= 91.0	< 88.4	>= 88.4	>= 90.5
15	< 89.4	>= 89.4	>= 91.8	< 89.4	>= 89.4	>= 91.3
18.5	< 90.0	>= 90.0	>= 92.2	< 90.0	>= 90.0	>= 91.8
22	< 90.5	>= 90.5	>= 92.6	< 90.5	>= 90.5	>= 92.2
30	< 91.4	>= 91.4	>= 93.2	< 91.4	>= 91.4	>= 92.9
37	< 92.0	>= 92.0	>= 93.6	< 92.0	>= 92.0	>= 93.3
45	< 92.5	>= 92.5	>= 93.9	< 92.5	>= 92.5	>= 93.7
55	< 93.0	>= 93.0	>= 94.2	< 93.0	>= 93.0	>= 94.0
75	< 93.6	>= 93.6	>= 94.7	< 93.6	>= 93.6	>= 94.6
90	< 93.9	>= 93.9	>= 95.0	< 93.9	>= 93.9	>= 95.0

Note:  $\eta_N$  in accordance to existing IEC 34, summation of losses method.

Tabla 6. Valores rendimiento según CEMEP de acuerdo a IEC 60034 1996 [16]





**Rendimientos nominales mínimos ( $\eta$ ) para el nivel de rendimiento IE2 (50 Hz)**

Potencia nominal (kW)	Número de polos		
	2	4	6
0,75	77,4	79,6	75,9
1,1	79,6	81,4	78,1
1,5	81,3	82,8	79,8
2,2	83,2	84,3	81,8
3	84,6	85,5	83,3
4	85,8	86,6	84,6
5,5	87,0	87,7	86,0
7,5	88,1	88,7	87,2
11	89,4	89,8	88,7
15	90,3	90,6	89,7
18,5	90,9	91,2	90,4
22	91,3	91,6	90,9
30	92,0	92,3	91,7
37	92,5	92,7	92,2
45	92,9	93,1	92,7
55	93,2	93,5	93,1
75	93,8	94,0	93,7
90	94,1	94,2	94,0
110	94,3	94,5	94,3
132	94,6	94,7	94,6
160	94,8	94,9	94,8
200 hasta 375	95,0	95,1	95,0

**Rendimientos nominales mínimos ( $\eta$ ) para el nivel de rendimiento IE3 (50 Hz)**

Potencia nominal (kW)	Número de polos		
	2	4	6
0,75	80,7	82,5	78,9
1,1	82,7	84,1	81,0
1,5	84,2	85,3	82,5
2,2	85,9	86,7	84,3
3	87,1	87,7	85,6
4	88,1	88,6	86,8
5,5	89,2	89,6	88,0
7,5	90,1	90,4	89,1
11	91,2	91,4	90,3
15	91,9	92,1	91,2
18,5	92,4	92,6	91,7
22	92,7	93,0	92,2
30	93,3	93,6	92,9
37	93,7	93,9	93,3
45	94,0	94,2	93,7
55	94,3	94,6	94,1
75	94,7	95,0	94,6
90	95,0	95,2	94,9
110	95,2	95,4	95,1
132	95,4	95,6	95,4
160	95,6	95,8	95,6
200 hasta 375	95,8	96,0	95,8

**Tabla 7. Valores de rendimientos motores según EC 640/2009 de acuerdo a IEC 60034-2-1:2007 [13]**

### 3.4 Métodos de medición de la eficiencia energética en motores eléctricos

La eficiencia o rendimiento de un motor se define como la relación entre la potencia mecánica de salida en el eje del motor y la potencia eléctrica de entrada al motor. La diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida son las pérdidas las cuales se disipan en forma de calor a través de la carcasa del motor.

Las pérdidas que se producen en un motor eléctrico pueden clasificarse en 5 tipos:

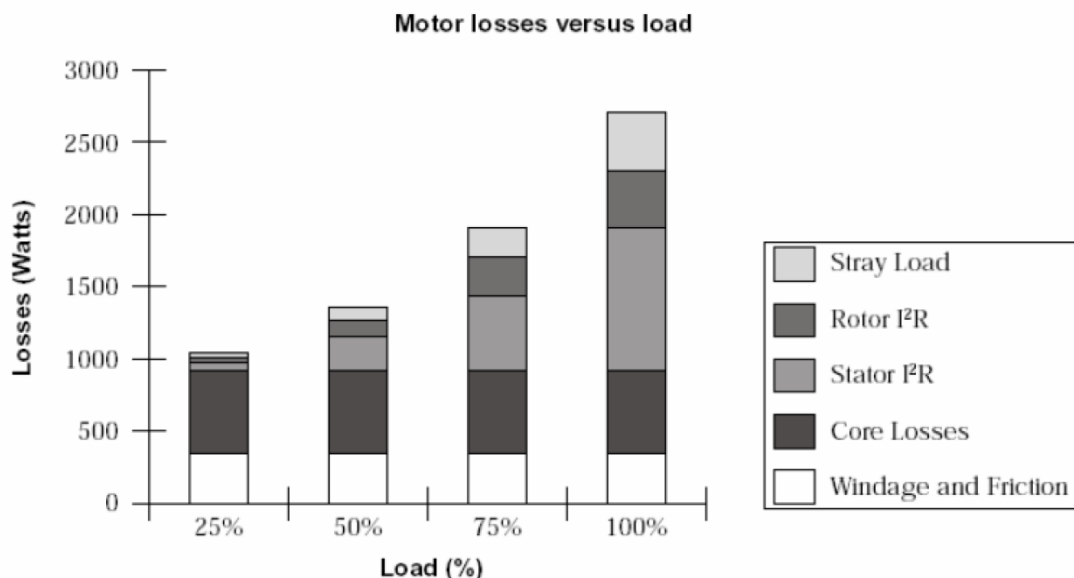
1.  $P_{Fe}$ : Pérdidas en el hierro o pérdidas en el núcleo
2.  $P_{F\&W}$ : Pérdidas por fricción (rodamientos) y ventilación

Estas pérdidas son **independientes de la carga** que acciona el motor.

3.  $P_{Cu1}$ : Pérdidas en el cobre del estator  $I^2R_s$
4.  $P_{Cu2}$ : Pérdidas en el cobre del rotor  $I^2R_r$
5.  $P_{ad}=P_{SLL}$ : Pérdidas adicionales o de flujo disperso\*

Estas pérdidas son **dependientes de la carga** que acciona el motor.

\* *Stray Load Losses*, pérdidas en el material del núcleo por altas frecuencias, como consecuencia de la circulación de corriente por el devanado, de los armónicos en el rotor en baja carga y otras corrientes inducidas por la carga



**Grafico 32. Ejemplo de proporción de pérdidas según tipo en un motor eléctrico.**

De estas, los cuatro primeros tipos de pérdidas pueden ser determinados en base a la potencia de entrada, la tensión, la corriente, la velocidad de giro y el par:

- Las pérdidas  $P_{Fe}$  y las  $P_{F\&W}$  pueden ser determinadas mediante los valores de la prueba en vacío del motor.
- Las pérdidas  $P_{Cu1}$  y  $P_{Cu2}$  pueden ser determinadas mediante los valores de resistencia de los devanados, deslizamiento y la potencia de entrada obtenidas de la pruebas en carga del motor.

Sin embargo las pérdidas adicionales  $P_{SLL}$  son mucho más difíciles de determinar o medir, de hecho existía una inconsistencia para distintas normativas a nivel mundial en la determinación de la eficiencia de los motores por el tratamiento y la medida de estas pérdidas adicionales  $P_{SLL}$ , por este motivo la actual norma IEC 60034-2-1 especifica los diferentes métodos para determinar estas pérdidas adicionales.

La norma IEC 60034-2-1:1996 se modificó con la nueva IEC 60034-2-1:2007 para incluir los métodos de medida de las pérdidas adicionales de carga  $P_{LL}$  y así mejorar la precisión de la eficiencia de los motores, y armonizarse a nivel global con los métodos de prueba para el cálculo, introduciendo el concepto del "método preferido o preferente" o "método con menor incertidumbre" para determinar esas pérdidas. También se diferencia en que las pérdidas en el cobre del rotor y el estator son medidas o determinadas a  $25^{\circ}\text{C}$  + la elevación de temperatura medida en el bobinado del estator. [15]

Table 2 – Induction machines				
Method	Clause	Preferred method	Required facilities	Uncertainty
<b>Direct</b>				
Torque measurement	8.1.1	All single phase and polyphase $\leq 1$ kW	Torquemeter/dynamometer for full-load	Low
Calibrated machine test	Annex D		Calibrated machine	See Note 4
Dual-supply, back-to-back test	8.1.2		Machine set for full-load Two identical units	Low
<b>Total losses</b>				
Calorimetric method	Annex D		Special thermal enclosure	See Note 4
Single supply back-to-back test	8.2.1		Two identical units (wound rotor)	Low
<b>Summation of losses, with and without load test</b>				
$P_{LL}$ determined from residual loss	8.2.2.5.1	Three phase $> 1$ kW up to 150 kW	Torquemeter/dynamometer for $\geq 1,25 \times$ full-load	Low
$P_{LL}$ from assigned value	8.2.2.5.3			Medium to high
$P_{LL}$ from removed rotor and reverse rotation test	8.2.2.5.2		Auxiliary motor with rated power $\leq 5 \times$ total losses $P_T$	High
$P_{LL}$ from Eh-star test	8.2.2.5.4	(see Note 3)	Resistor for 150 % rated phase current	Medium
<b>Summation of losses, without load test</b>				
Currents, powers and slip from the equivalent circuit method $P_{LL}$ from assigned value	8.2.2.4.3		If test equipment for other tests is not available (no possibility of applying rated load, no duplicate machine)	Medium/high
<p>NOTE 1 Due to measurement inaccuracies, the determination of <math>P_{LL}</math> from residual losses is limited to correlation coefficients (see 8.2.2.5.1.2) greater than 0,95 and may have uncertainties of the determined efficiency exceeding <math>\pm 0,5</math> %.</p> <p>NOTE 2 In the "Uncertainty" column, "Low" indicates a procedure determining all loss-components from tests; "Medium" indicates a procedure which is based on a simplified physical model of the machine, "High" indicates a procedure that does not determine all loss-components by tests.</p> <p>NOTE 3 The method for <math>P_{LL}</math> from Eh-star test is suitable for motors between 1 kW and 150 kW; larger ratings are under consideration. The method requires that the winding can be connected in star.</p> <p>NOTE 4 Uncertainty to be determined.</p>				

**Tabla 8. Métodos de medición de pérdidas en motores eléctricos según IEC 60034-2-1:2007 [15]**

Se determinaron 3 niveles de incertidumbre para los métodos de prueba:

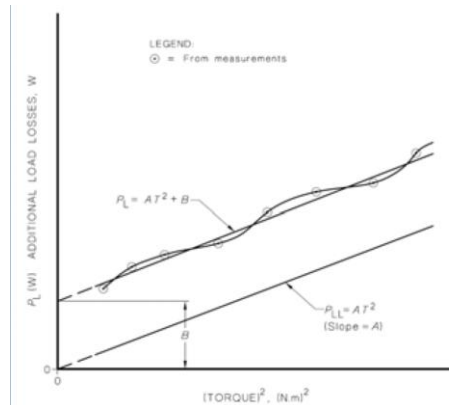
- Bajo: Determinación de la eficiencia mediante pruebas.
- Medio: Determinación de la eficiencia basándose en aproximaciones.
- Alto: Determinación de la eficiencia basándose en supuestos.

El método para el cálculo de las pérdidas adicionales  $P_{LL}$  con menor incertidumbre de los referidos en la norma es el basado en medidas directas, es decir, el método que determina las  $P_{LL}$  en base a las pérdidas residuales, éste método es el utilizado en EE.UU. (IEEE 112-B) y Canadá (CSA 390-98). [15]

Summation of losses, with and without load test				
$P_{LL}$ determined from residual loss	8.2.2.5.1	Three phase > 1 kW up to 150 kW	Torquemeter/dynamometer for $\geq 1,25 \times$ full-load	Low
$P_{LL}$ from assigned value	8.2.2.5.3			Medium to high
$P_{LL}$ from removed rotor and reverse rotation test	8.2.2.5.2		Auxiliary motor with rated power $\leq 5 \times$ total losses $P_T$	High
$P_{LL}$ from Eh-star test	8.2.2.5.4	(see Note 3)	Resistor for 150 % rated phase current	Medium

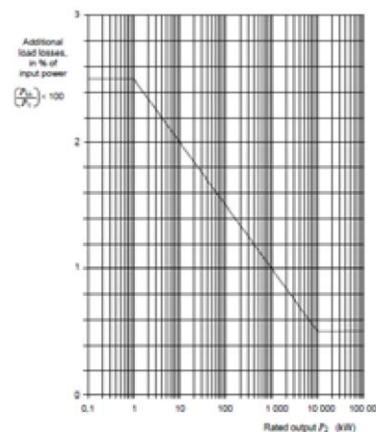
**Tabla 9. Métodos de medición de pérdidas adicionales o flujo disperso según IEC 60034-2-1:2007[15]**

El método de determinación de las pérdidas  $P_{LL}$  basándose en los valores medidos requiere medidas precisas de Par y velocidad del motor por el cual se determinan la potencia de esas pérdidas con relación al cuadrado del par del motor como se muestra en la siguiente gráfica: [15]



**Gráfico 33. Medición de las pérdidas  $P_{LL}$  a través de la medida del par [15]**

El método de determinación de las pérdidas  $P_{LL}$  basándose en un valor asignado se basa en un rango de valores asignados en función de la potencia del motor, estipulando desde un 2,5% para motores de baja potencia hasta un 0,5% para motores de potencia superior. Este método tiene un nivel de incertidumbre medio o alto. [15]



**Gráfico 34. Valores asignados de pérdidas  $P_{LL}$ , en motores de inducción [15]**

El método de determinación de las pérdidas  $P_{LL}$  basándose en el llamado método Eh-Star, calcula de manera indirecta las pérdidas basándose métodos matemáticos, el nivel de incertidumbre en este caso es medio. [15]

60034-2-1 © IEC 2007 - 63 -

**Annex B**  
(normative)

**Calculation of values for the Eh-star method**

Determine the following complex voltages and currents from the test results:

$$\begin{aligned} U'_{LV} &= U_{LV} \\ U'_{WU} &= \frac{U_{VW}^2 - U_{WU}^2 - U_{LV}^2}{2 \cdot U_{LV}} \\ U'_{WU} &= \sqrt{\frac{U_{VW}^2 - U_{WU}^2}{2}} \\ U'_{VW} &= -U'_{LV} - U'_{WU} \\ U'_{VW} &= -U'_{WU} \\ I'_V &= \frac{(P_{LV} - P_{WU}) + U'_{WU} \cdot I'_W}{U'_{LV}} \end{aligned}$$

NOTE In the above equation, it is assumed that current  $I_W$  is in phase with voltage  $U_{WU}$ . In the case where the impedance of the resistor contains a noticeable reactive component, use the following formulae

$$I'_V = \frac{(P_{LV} - P_{WU}) + R_{LV} \cdot I'_V}{U'_{LV}}$$

where  $R_{LV}$  is the measured value of the resistive component.

$$\begin{aligned} I'_V &= \sqrt{I_V^2 - I_W^2} \\ k_1 &= \frac{1}{2} \left( \frac{I_W^2 - I_V^2}{I_V^2} \right) \\ I'_{LV} &= k_1 \cdot I'_V + \sqrt{\left( k_1^2 - \frac{I_W^2}{I_V^2} \right) (I_V^2 - I_W^2)} \\ I'_{LV} &= \frac{k_1 I_V^2 - I_W^2 \cdot I'_V}{I'_V} \\ I'_W &= -I'_V - I'_V \\ I'_W &= -I'_V - I'_V \end{aligned}$$

Determine the inner line-to-line voltages from the complex line-to-line voltages and currents:

$$\begin{aligned} U'_{LV} &= U_{LV} + \frac{R_{LV}}{2} (I'_V - I'_V) \\ U'_{VW} &= U_{VW} + \frac{R_{VW}}{2} (I'_V - I'_V) \\ U'_{WU} &= U_{WU} + \frac{R_{WU}}{2} (I'_V - I'_V) \end{aligned}$$

Separate into positive and negative sequence line-to-line components ( $\underline{g} = e^{j2\pi/3}$ ):

**Gráfico 35. Fórmulas para el cálculo de  $P_{LL}$  según el método Eh-Star [15]**

Los fabricantes de motores eléctricos pueden seleccionar cuál de los métodos de medida aplican para determinar las pérdidas pero deben indicar en la documentación técnica del motor qué método ha sido usado, y por lo tanto los valores de eficiencia de un motor de diferentes fabricantes sólo es comparable si ha sido utilizado el mismo método para determinar las pérdidas del motor.

La IEC 60034-30 que designa las clases de eficiencia de los motores en base a su rendimiento está directamente relacionada con esta norma y, sin embargo, estipula que para los motores con clases de eficiencia IE2 e IE3 sólo son aceptables los métodos de medición de las pérdidas con baja incertidumbre por lo que este requerimiento sería cumplido con el método para el cálculo de las pérdidas adicionales  $P_{LL}$  basado en medidas directas o perdidas residuales. [17]

### 3.5 Directiva europea y americana vigente

#### **DIRECTIVA EUROPEA:**

En la actualidad, a fecha de la realización de esta memoria, la normativa vigente para motores de inducción de baja tensión en relación a los requisitos de eficiencia energética y de diseño ecológico, en virtud de la Directiva 2005/32/CE, es la marcada por el reglamento 640/2009 (o Directiva EuP) el cual establece los requisitos de diseño ecológico para la comercialización y la puesta en servicio de motores, incluidos los integrados en otros productos. [13]

Es de aplicación a motores de inducción eléctricos trifásicos, de velocidad única, de jaula de ardilla, de 50 Hz o 50/60 Hz, que:

- Tengan 2, 4 o 6 polos
- Tengan un voltaje o tensión nominal  $U_N < 1000 \text{ V}$
- Tengan una potencia nominal  $P_N$  de entre 0,75 kW y 375 kW
- Estén pensados para un servicio en funcionamiento continuo

Los requisitos de diseño ecológico marcan los niveles mínimos de rendimiento nominal (a plena carga y tensión nominal sin tolerancia) en función de su clasificación energética según la IEC 60034-30 (IE) para cada potencia y número de polos, como se indica en el Anexo I del citado reglamento. [13]

La aplicación de dichos requisitos seguirá un calendario u hoja de ruta marcado también en este reglamento según veremos más adelante.

Este reglamento también marca los requisitos de información sobre el producto aplicables a los motores e indica que la siguiente información: [13]

- 1) Rendimiento nominal ( $\eta$ ) al 100 %, al 75 % y al 50 % de carga y voltaje ( $U_N$ ).
- 2) Nivel de rendimiento: «IE2» o «IE3».
- 3) Año de fabricación.
- 4) Nombre del fabricante o denominación comercial, número del registro mercantil y sede social del fabricante.
- 5) Número de modelo del producto.
- 6) Número de polos del motor.
- 7) Potencia(s) nominal(es) o intervalo de la potencia nominal (en kW).
- 8) Frecuencia(s) de entrada nominal(es) del motor (en Hz).
- 9) Voltaje(s) nominal(es) o intervalo del voltaje nominal (en V).
- 10) Velocidad(es) nominal(es) o intervalo de la velocidad nominal (en rpm).
- 11) Información pertinente para el desmontaje, reciclado o eliminación al final de la vida útil.
- 12) Información sobre la gama de condiciones de funcionamiento para las que está específicamente diseñado el motor:
  - i) Altitudes por encima del nivel del mar,
  - ii) temperaturas del aire ambiente, también en el caso de motores con sistema de refrigeración por aire
  - iii) temperatura del agua del refrigerante en la entrada del producto,
  - iv) temperatura máxima de funcionamiento,
  - v) atmósferas potencialmente explosivas



deberá estar expuesta de forma visible en:

- la documentación técnica de los motores;
- la documentación de los productos en los que están incorporados los motores;
- las páginas web de libre acceso de los fabricantes de motores;
- las páginas web de libre acceso de los fabricantes de los productos en los que están incorporados los motores.

La información mencionada en los puntos 1, 2 y 3 deberá figurar de forma duradera en la placa de datos del motor o cerca de ella, esto hace que la información de las placas de características de los motores cambie: [13]

- Eficiencia o rendimiento. Ahora se especifica el valor de la eficiencia que marca la norma.
- Corriente. La intensidad nominal cambia como resultado de un valor de eficiencia menor, derivado de los métodos de medición de las pérdidas.
- Voltaje nominal. El margen nominal ya no se especifica; anteriormente se grababa 380 – 420 V, ahora 400 V.

<b>SIEMENS</b>							
Made in Czech Republic							
3~Mot. 1LE10030EA422AA4-Z				UD 1203/1420830 001			
IEC/EN 60034 90L		IM B3		IP 55			
20 kg	Th.Cl.2 155(F)	-20°C<=TAMB<=40°C					
Bearing							
DE 6205-2ZC3							
NE 6004-2ZC3							
V	Hz	A	kW	cos φ	NOM.EFF	1/min	IE-CL
230 Δ	50	7.3	2.2	0.88	85.9	2910	IE3
400 Y	50	4.20	2.2	0.88	85.9	2910	IE3
460 Y	60	4.20	2.55	0.88	86.5	3510	IE3
460 Y	60	3.65	2.2	0.87	86.5	3530	IE3

Ejemplo placa de características motor Siemens

El cumplimiento de los requisitos de diseño ecológico se medirá y calculará de conformidad con los requisitos que se indican también en este reglamento, en su anexo II, y que están relacionados con la norma para el cálculo de las pérdidas IEC 60034-2-1, pero no se menciona directamente dicha norma.

	Directiva EuP Basada en la norma IEC 60034-30 (Directiva EuP aprobada en 07/2009; EuP = Energy Using Products)
Descripción	La Directiva EuP debe pasar a ser ley en todos los países de la UE, siendo la norma IEC 60034-2-1:2007 la base de determinación de pérdidas y de eficiencia
Número de polos	2, 4, 6
Rango de potencias	0,75 – 375 kW
Niveles	IE1 – eficiencia estándar IE2 – alta eficiencia IE3 – eficiencia premium
Tensiones	<1000V, 50/60Hz
Tipo de protección	Todos
Motores freno	No
Motorreductores	Sí
Motores Ex	No en la directiva, sí en la IEC 60034
Validez	La norma IEC 60034-30 es válida desde octubre 2008. La Directiva EuP se traspone a la legislación nacional de cada país y entra en vigor el 16 de junio de 2011. Los fabricantes no podrán poner en circulación dentro de la Unión Europea motores IE1 a

Tabla 10. Clases de eficiencia y aplicación para motores eléctricos según IEC 60034-30 [17]



Posteriormente, en Agosto de 2014, entra en vigor el reglamento 4/2014 que modifica el anterior 640/2009 relativo a los requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos, considerando la experiencia adquirida con la aplicación del Reglamento 640/2009 que ponía de manifiesto la necesidad de modificar algunas de sus disposiciones para evitar efectos imprevistos en el mercado de los motores y en el rendimiento de los productos contemplados por dicho Reglamento, es decir, estos cambios se realizan con el fin de evitar que algunas de las excepciones, como se indica a continuación, se conviertan en "coladeros" para escapar a los mínimos valores de eficiencia requeridos en contra del espíritu inicial de la Directiva. [14]

### **DIRECTIVA AMERICANA:**

Estados Unidos fue el primer país que, concienciado por la necesidad de reducir su consumo energético y hacer su industria más competitiva, ya impulsó el uso de motores de alta eficiencia hace años con su ley federal EPAct (Energy Policy Act), que luego se vio reforzada por la actual ley EISA con la que se obliga actualmente al cumplimiento de un nivel de eficiencia mínimo NEMA Premium (IE3) en los motores estándar más habituales.

La anterior ley norteamericana EPAct (Energy Policy Act) se reemplaza a partir de diciembre de 2010 por la EISA (Energy Independence Security Act). Anteriormente, EPAct define un mínimo nivel de eficiencia NEMA Energy Efficient (IE2) para motores de 1 a 200 HP, 2/4/6 polos y tensiones 230 o 460V, con una serie de excepciones. Desde diciembre 2010, la EISA amplía los requerimientos mínimos de eficiencia de acuerdo a la norma NEMA MG1 Tabla 12-12 y los siguientes motores deben cumplir NEMA Premium Efficiency (IE3):

- 1 a 200 HP
- 2/4/6 polos
- 230V, 460V
- 60 Hz
- Servicio continuo S1
- Motores reductores
- Motores zona segura Atex

Además, los siguientes motores deben cumplir NEMA Energy Efficient Level (IE2) de acuerdo a la norma NEMA MG1 Tabla 12-11:

- 201-500 HP
- 2/4/6 y 8 polos
- todas las tensiones <600V con la excepción de 230V y 460V
- motores sin patas (motores con brida IM B5)
- Diseño NEMA C (par de arranque incrementado)

Excepciones a los requerimientos de eficiencia de la EISA:

- Motores freno
- Motores alimentados por variador
- Motores con diseño letra C y superior
- Motores con diseño letra A para potencias  $\leq 250$  HP
- Motores cuyo tamaño de carcasa según IEC no corresponde con el tamaño de carcasa según NEMA

### 3.6 Excepciones a la normativa de eficiencia europea vigente

El reglamento 640/2009 o EuP deja fuera del ámbito de aplicación de esta directiva: [13]

- Motores de más de 6 polos
- Motores de polos conmutables ( 2 o 3 velocidades)
- Motores síncronos
- Motores para funcionamiento diferente al servicio continuo (servicios intermitentes S2 a S9)
- Motores especialmente diseñados para uso con convertidor de frecuencia de acuerdo a IEC 60034-25
- Motores monofásicos

Adicionalmente este reglamento no es de aplicación o tiene como excepciones las siguientes:

- Motores diseñados para funcionar totalmente sumergidos en un líquido.
- Motores totalmente integrados en un producto (por ejemplo, mecanismos de transmisión, bombas, ventiladores o compresores) cuyo comportamiento energético no pueda someterse a ensayo independientemente del producto
- Motores especialmente diseñados para funcionar:
  - a una altitud superior a 1000 m sobre el nivel del mar
  - a una temperatura ambiente superior a 40°C
  - a una temperatura ambiente inferior a -15°C o inferior a 0 °C para un motor con un sistema de refrigeración por agua
  - En caso de motores con refrigeración por agua, temperatura del agua refrigerante inferior a 5°C o superior a 25°C
  - a una temperatura de funcionamiento superior a 400°C
  - en atmósferas potencialmente explosivas (ATEX)
- Motores freno

Posteriormente estas excepciones se ven modificadas, y son vigentes actualmente, según el reglamento 4/2014, debido a que se comprueba que la implantación en el mercado de los niveles mínimos exigidos de eficiencia en motores, desde el año 2009, no tiene los resultados deseados ya que la anterior directiva 640/2009 deja "la puerta abierta" con estas excepciones para que no se cumplan en los nuevos motores suministrados a partir de las fechas estipuladas, estas modificaciones son: [14]

- la excepción de la altitud pasa de 1000 m a 4000 m sobre el nivel del mar
- la excepción del máximo de temperatura ambiente pasa de 40°C a 60°C
- la excepción del mínimo de temperatura ambiente pasa de -15°C a -30°C
- la excepción de los valores máximo y mínimo de la temperatura del agua refrigerante en la entrada pasan de 5°C y 25°C a 0°C y 32°C, respectivamente

Otro cambio que se introduce en el Reglamento 4/2014 es el relativo a las placas de características de los motores: [14]

Si el tamaño de la placa de características impide que se puedan mostrar todos los valores de rendimiento a 100%, 75% y 50% de carga, se hará constar solo el valor del rendimiento nominal al 100% de carga y tensión nominal.

### 3.7 Hoja de ruta de la directiva europea relativa a la eficiencia energética

El reglamento 640/2009 marca un calendario para el cumplimiento de los requisitos de diseño ecológico o clases de eficiencia y niveles de rendimiento de los motores que indica en el mismo: [13]

- 1) a partir del **16 de junio de 2011**, el nivel de rendimiento de los motores no podrá ser inferior al nivel de rendimiento IE2
- 2) a partir del **1 de enero de 2015**:  
Los motores con una potencia nominal de 7,5-375 kW no podrán tener un nivel de rendimiento inferior al nivel de rendimiento IE3, o al nivel IE2 y estar equipados de un mando de regulación de velocidad (variador de frecuencia).
- 3) a partir del **1 de enero de 2017**:  
Todos los motores con una potencia nominal de 0,75-375 kW no podrán tener un nivel de rendimiento inferior al nivel de rendimiento IE3, o al nivel IE2 y estar equipados de un mando de regulación de velocidad (variador de frecuencia).



08/2014: entrada en vigor Reglamento EU 4/2014

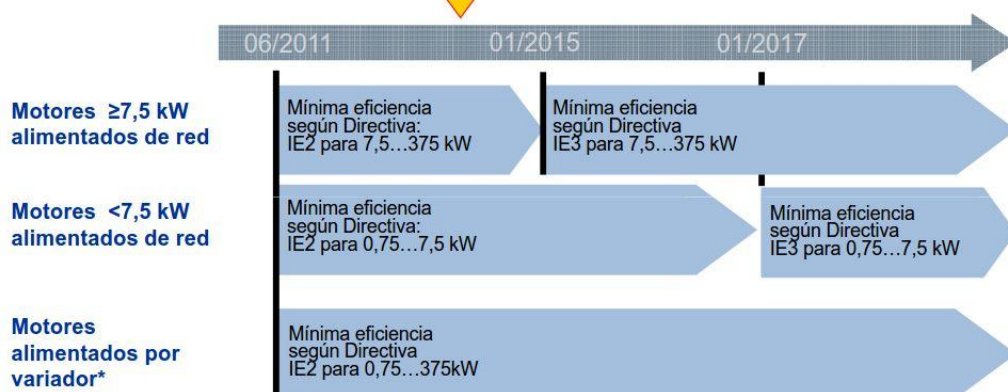
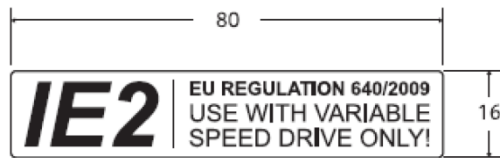


Gráfico 36. Fechas de implantación de mínimas clases de eficiencia en motores en Europa

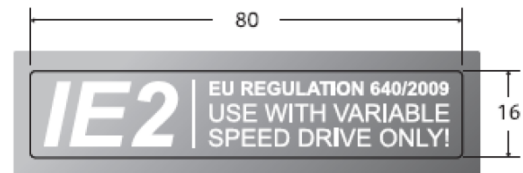
La normativa también obliga a que la información relativa al requisito obligatorio de equipar los motores que no alcancen el nivel de rendimiento IE3 con un mando de regulación de velocidad (variador de frecuencia), deberá exponerse de forma visible en la placa de datos del motor o en una placa/etiqueta adicional y en la documentación técnica del motor: [13]

a) a partir del 1 de enero de 2015 para motores con una potencia nominal de 7,5-375 kW

b) a partir del 1 de enero de 2017 para motores con una potencia nominal de 0,75-375 kW



Dimensions: 80x16mm  
Print Color: Black 100%  
Label: Transparent



Dimensions: 80x16mm  
Print Color: White 100%  
Label: Transparent

En el futuro es previsible que se produzcan algunos cambios en las normas sobre eficiencia energética en motores eléctricos y accionamientos eléctricos, compuestos por motor y variador de frecuencia, que posteriormente se verán reflejados en las directivas o reglamentos aplicables a nivel nacional, en esta línea podemos ver:

- Ampliación del rango de potencias de motores de 0,75 - 375 kW a 0,12 - 1000 kW, en relación a las clases de eficiencia IE, ampliación de estos niveles de eficiencia hasta IE4 e inclusión de los motores de 8 polos.

Estos cambios ya se ven reflejados en la IEC 60034-30-1 de Diciembre de 2014 donde se indican los valores de rendimiento de motores hasta 1000 kW, motores de 8 polos y clase de eficiencia hasta IE4, la clase IE5 solo se menciona en su anexo a nivel indicativo con un objetivo de reducción de las pérdidas de los motores en un 20% respecto a los IE4 sin indicación de valores concretos.


- Eliminación de algunas excepciones como motores con freno o motores para zonas con peligro de explosión.
  - Eliminación de la restricción de niveles de eficiencia energética a motores de inducción con jaula de ardilla.
  - Nueva norma IEC 60034-2-3 para medir las pérdidas de motores alimentados con variador.
  - Nuevas clases de eficiencia IEC 60034-30-2 para motores alimentados con variador.
  - Nuevas clases de eficiencia "IES" para sistemas conjuntos de motor y variador.
- Publicada recientemente una nueva norma EN 50598 que establece requisitos de diseño ecológico aplicables a los sistemas de accionamiento y sus componentes asociados.

También es previsible que se incluyan en el futuro cierta regulación en el rebobinado de motores, ya que un rebobinado deficiente puede reducir de forma importante la eficiencia del motor.


### 3.8 Mapa mundial de eficiencia y normativas aplicables

Debido a que los motores eléctricos consumen aproximadamente un 70% de la energía eléctrica en el sector industrial, estos representan un gran potencial de ahorro cuando se incrementa su eficiencia energética y es por esto que muchos países a nivel mundial han creado ya un marco legal para reducir el consumo de energía en su sector industrial, marcando unos niveles mínimos de eficiencia energética con la intención de alcanzar los objetivos medioambientales marcados.

Comenzando por las normas que se han definido a nivel global, como la IEC 60034-30-1 y NEMA MG1, los distintos países han trasladado esos niveles mínimos de eficiencia en motores a su legislación y el término usado a nivel global para esos mínimos niveles de eficiencia es MEPS (Minimum Energy Performance Standards) [16]

	<b>ARGENTINA</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 380 V Frecuencia: 50 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	Sin norma o regulación			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	-	-	-	Sin requerimientos mínimos de eficiencia
Excepciones	Sin excepciones			

**Tabla 11. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. ARGENTINA [16]**


	<b>COLOMBIA</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 460 V Frecuencia: 60 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	Sin norma o regulación			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	-	-	-	Sin requerimientos mínimos de eficiencia
Excepciones	Sin excepciones			

**Tabla 12. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. COLOMBIA [16]**



	BRASIL				
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 1000 V Frecuencia: 60 Hz				
Reglamento / Directiva / Norma	Portaria Interministerial No. 553 INMETRO NBR 17094-1				
Requerimientos Legales					
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima	
2015	0,75 - 110 kW	1 HP - 200 HP	8	IE2 mandatorio desde 08.12.2009*	
	0,75 - 150 kW	1 HP - 201 HP	6	IE2 mandatorio desde 08.12.2009*	
	0,75 - 185 kW	1 HP - 250 HP	2 , 4	IE2 mandatorio desde 08.12.2009*	
Excepciones	* Los valores mínimos de eficiencia son cercanos a los valores IE2 definidos en la IEC 60034-30 Excepciones de acuerdo a la INMETRO NBR 17094-1 / Portaria Interministerial No. 553: 1. Motores especialmente diseñados para funcionamientos con variador. 2. Motores diseñados específicamente para funcionar: i) en atmosferas potencialmente explosivas ii) en aplicaciones especiales (p.e. motores extracción de humos) 3. Tipos de servicio diferentes a S1 o S3 4. Motores refrigerados por agua				


**Tabla 13. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. BRASIL [16]**


	<b>MEJICO</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 600 V Frecuencia: 60 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	NOM-016-ENER-2010			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	0,75 kW - 375 kW	1 HP - 500 HP	2 , 4 , 6, 8	NEMA Premium Efficiency mandatorio desde 19.12.2010
Excepciones	Sin excepciones			

**Tabla 14. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. MEJICO [16]**


	<b>CHINA</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 1000 V Frecuencia: 50 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	GB18613-2012			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	0,75 kW - 375 kW	1 HP - 500 HP	2 , 4 , 6	IE2 mandatorio desde 01.09.2012*
Excepciones	Excepciones a China Energy Label desde 1.09.2012: 1. Motores completamente integrados en una maquina (por ejemplo bombas, ventiladores y compresores) que no pueden ser probados de manera separada de la máquina. 2. Motores de diseño especial para aplicaciones ambientales especiales como aplicaciones a gran altitud sobre el nivel del mar por encima de 1000 metros 3. Motores de diseño especial para aplicaciones especiales como motores para extracción de humo, motores específicos para industria textil, etc. 4. Motores diseñados para condiciones variables, como motores para funcionamiento con variador. 5. Motores con freno integrado. 6. Motores con ciclo de trabajo distinto a S1 o S3 con un factor de duración cíclico nominal del 80% o superior. 7. Motores de doble y/o múltiple devanado. 8. Motores para 60 Hz (sólo datos a 60 Hz en la placa de características)			

**Tabla 15. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. CHINA [16]**


	<b>INDIA</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 1000 V Frecuencia: 50 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	IS: 12615- 2011			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	0,37 kW - 375 kW	0,5 HP - 500 HP	2 , 4 , 6	IE2 mandatorio desde 06.2011*
Excepciones	*Los requerimientos de eficiencia mínima mandatorios de acuerdo a IS: 12615-2011 son sólo válidos para los motores energéticamente eficientes. Excepciones de acuerdo a IS: 12615- 2011: 1. Motores fabricados exclusivamente para aplicaciones para funcionamiento con variador. 2. Motores completamente integrados en una maquina (por ejemplo bombas, compresores, maquinas especiales, etc.) que no pueden ser probados de manera separada de la máquina. 3. Motores con ciclo de trabajo S2, S4 o superior, excepto si un ciclo S1 equivalente es especificado por el fabricante del equipo accionado. 4. Motores de inducción de anillos rozantes. 5. Motores monofásicos. 6. Motores de múltiples polos.			

	<b>EUROPA (2015 &amp; 2017)</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 1000 V Frecuencia: 50 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	Regulación 640/2009 Regulación 04/2014 IEC 60034-30-1			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	7,5 kW - 375 kW	10 HP - 500 HP	2 , 4 , 6	IE3 o IE2 con variador de frecuencia mandatorio desde 01.01.2015
	0,75 kW - 5,5 kW	1 HP - 7,4 HP	2 , 4 , 6	IE2 mandatorio desde 16.06.2011
2017	0,75 kW - 375 kW	1 HP - 500 HP	2 , 4 , 6	IE3 o IE2 con variador de frecuencia mandatorio desde 01.01.2017
Excepciones	Excepciones de acuerdo a las regulaciones 640/2009 y 04/2014: 1. Motores diseñados para funcionar completamente sumergidos en un líquido. 2. Motores completamente integrados en un producto (por ejemplo reductores, bombas, ventiladores o compresores) para los cuales la eficiencia energética no pueda ser probada independientemente del producto. 3. Motores específicamente diseñados para funcionar: i) a altitudes por encima de 4000 m sobre el nivel del mar; ii) donde la temperatura ambiente esté por encima de 60 °C iii) a una temperatura máxima de operación por encima de 400 °C iv) cuando la temperatura ambiente sea menos de -30 °C para cualquier motor o menos de 0 °C para motores con refrigeración por agua; v) cuando la temperatura del liquido refrigerante a la entrada es menor de 0 °C o mayor de 32 °C; vi) en atmósferas potencialmente explosivas como se define en la Directiva del Parlamento Europeo 94/9/EC 4. Motores freno 5. Tipo de servicio diferente a S1. 6. Motores especialmente diseñados para funcionar con variador de frecuencia.			


**Tabla 17. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. EUROPA [16]**

	<b>TURQUIA</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 1000 V Frecuencia: 50 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	Regulación SMG 2012/2 IEC 60034-30-1			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	7,5 kW - 375 kW	10 HP - 500 HP	2 , 4 , 6	IE3 o IE2 con variador de frecuencia mandatorio desde 01.01.2015
	0,75 kW - 5,5 kW	1 HP - 7,4 HP	2 , 4 , 6	IE2 mandatorio desde 16.06.2011
2017	0,75 kW - 375 kW	1 HP - 500 HP	2 , 4 , 6	IE3 o IE2 con variador de frecuencia mandatorio desde 01.01.2017
Excepciones	Excepciones de acuerdo a la regulación SMG 2012/2: 1. Motores diseñados para funcionar completamente sumergidos en un líquido. 2. Motores completamente integrados en un producto (por ejemplo reductores, bombas, ventiladores o compresores) para los cuales la eficiencia energética no pueda ser probada independientemente del producto. 3. Motores específicamente diseñados para funcionar: i) a altitudes por encima de 4000 m sobre el nivel del mar; ii) donde la temperatura ambiente esté por encima de 60 °C iii) a una temperatura máxima de operación por encima de 400 °C iv) cuando la temperatura ambiente sea menos de -30 °C para cualquier motor o menos de 0 °C para motores con refrigeración por agua; v) cuando la temperatura del líquido refrigerante a la entrada es menor de 0 °C o mayor de 32 °C; vi) en atmosferas potencialmente explosivas como se define en la Directiva del Parlamento Europeo 94/9/EC 4. Motores freno 5. Tipo de servicio diferente a S1. 6. Motores especialmente diseñados para funcionar con variador de frecuencia.			


**Tabla 18. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. TURQUIA [16]**

	<b>RUSIA</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 690 V Frecuencia: 50 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	Sin norma o regulación			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	-	-	-	Sin requerimientos mínimos de eficiencia
Excepciones	Sin excepciones			

**Tabla 19. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. RUSIA [16]**

	<b>CANADA</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 600 V Frecuencia: 60 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	Energy Efficiency Act CSA C390-10			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	0,75 kW - 150 kW	1 HP - 200 HP	2 , 4 , 6	NEMA Premium Efficiency mandatorio desde 12.04.2012
	160 kW - 375 kW	201 HP - 500 HP	2 , 4 , 6	NEMA Energy Efficiency mandatorio desde 12.04.2012
	0,75 kW - 375 kW	1 HP - 500 HP	8	NEMA Energy Efficiency mandatorio desde 12.04.2012
Excepciones	<p>Pueden ser "NEMA Energy Efficiency":</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Motores con patas, con patas y brida o/y motores IEC diseño N o H.</li><li>2. Motores sin patas.</li><li>3. NEMA diseño C o IEC diseño H;</li><li>4. Motores rígidamente acoplados a una bomba.</li><li>5. Bombas para extinción de incendios.</li></ol> <p>Excepciones de acuerdo a Canada Energy Efficiency Act (EEA C390-10 desde 12.04.2012)</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Motores etiquetados para funcionamiento con variador de frecuencia.</li><li>2. Motores multi-velocidad (varios polos)</li><li>3. Motores con brida excepto diseños C &amp; D.</li><li>4. Motores con carcasa U.</li><li>5. Tamaños de carcasa NEMA de 2 dígitos (48-56).</li></ol>			


**Tabla 20. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. CANADA [16]**

	TAILANDIA			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 400 V Frecuencia: 50 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	Sin norma o regulación			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	-	-	-	Sin requerimientos mínimos de eficiencia*
Excepciones	* Un beneficio fiscal voluntario puede ser aplicado cuando se instalan motores con una clase de eficiencia energética IE3 para motores de 2, 4, 6, y 8 polos con un rango de potencia entre 0,75 kW - 185 kW.  Sin excepciones			

**Tabla 21. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. TAILANDIA [16]**

	<b>KOREA DEL SUR</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 600 V Frecuencia: 60 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	KS C IEC60034			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	0,75 kW - 200 kW	1 HP - 268 HP	2 , 4 , 6 , 8	IE2 mandatorio desde 01.01.2013
2015 o 2016*	0,75 kW - 30 kW	1 HP - 40 HP	2 , 4 , 6 , 8	IE3 mandatorio desde 01.01.2013
	37 kW - 200 kW	50 HP - 268 HP	2 , 4 , 6 , 8	IE3 mandatorio desde 01.07.2015 o 01.01.2016
Excepciones	<p>Excepciones de acuerdo a KS C IEC60034:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1. Motores específicamente diseñados para funcionar:<ul style="list-style-type: none"><li>i) a altitudes por encima de 1000 m sobre el nivel del mar;</li><li>ii) donde la temperatura ambiente esté por encima de 40 °C</li></ul></li><li>2. Tipo de servicio diferente a S1.</li><li>3. Motores especialmente diseñados para funcionar con variador de frecuencia.</li><li>4. Motores sumergibles.</li><li>5. Motores integrados con un reductor donde el motor no puede ser usado separadamente.</li><li>6. Motores con refrigeración tipo TENV y TEAO (totalmente cerrados sin ventilación, totalmente cerrados con disipación por aire)</li><li>7. Motores de polos conmutables.</li></ul> <p>* Fechas no definidas exactamente</p>			


**Tabla 22. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. KOREA DEL SUR [16]**

	<b>EMIRATOS ARABES UNIDOS</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 690 V Frecuencia: 50 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	Sin norma o regulación			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	-	-	-	Sin requerimientos mínimos de eficiencia
Excepciones	Sin excepciones			

**Tabla 23. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. EMIRATOS ARABES [16]**





	<b>ESTADOS UNIDOS</b>			
Voltaje / Frecuencia	Voltaje hasta 600 V Frecuencia: 60 Hz			
Reglamento / Directiva / Norma	Energy Conservation Standards for Commercial and Industrial Motors, Final rule: 2014 EPAct; EISA 2007; NEMA MG-1 Table 12-12 und Table 12-11;			
Requerimientos Legales				
Año	Rango potencias (kW)	Rango potencias (HP)	Nº Polos	Nivel Eficiencia mínima
2015	0,75 kW - 150 kW	1 HP - 200 HP	2 , 4 , 6	NEMA Premium Efficiency mandatorio desde 19.12.2010
	160 kW - 375 kW	201 HP - 500 HP	2 , 4 , 6	NEMA Energy Efficiency NEMA diseño B mandatorio desde 19.12.2010
	0,75 kW - 375 kW	1 HP - 500 HP	2 , 4 , 6	NEMA Energy Efficiency mandatorio desde 19.12.2010
2016	0,75 kW - 375 kW	1 HP - 500 HP	2, 4, 6, 8	NEMA Premium Efficiency mandatorio desde 01.06.2016 para diseño NEMA A & B
	0,75 kW - 150 kW	1 HP - 200 HP	4, 6, 8	NEMA Premium Efficiency mandatorio desde 01.06.2016 para diseño NEMA C
	0,75 kW - 375 kW	1 HP - 500 HP	2, 4, 6, 8	NEMA Energy Efficiency mandatorio desde 01.06.2016 para bombas antiincendios
Excepciones	<p>Requerimientos hasta 31.05.2015, Pueden ser "NEMA Energy Efficiency" - EISA 2007:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Motores que no estén bajo la EPAct 1992 (EPAct 1992, NEMA MG-1 Tabla 12-11);</li><li>2. Motores carcasa U;</li><li>3. Motores diseño C;</li><li>4. Motores rígidamente acoplados a una bomba;</li><li>5. Motores sin patas;</li><li>6. Motores de eje solido vertical con empuje normal (probados en una configuración vertical);</li><li>7. Motores polifásicos que no excedan 600 V (diferentes de 230 o 460 V);</li><li>8. Bombas para extinción de incendios.</li></ol> <p>Excepciones fuera de EISA-2007 (desde 19.12.2010)</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Motores sumergibles;</li><li>2. Integrados con reductores o frenos donde el motor no puede usarse separadamente;</li><li>3. Motores multi-velocidad (varios polos)</li><li>4. Tamaños de carcasa NEMA de 2 dígitos (48-56);</li><li>5. Servicio intermitente (no S1);</li><li>6. Motores para uso sólo con variador de frecuencia;</li><li>7. Motores con refrigeración tipo TENV y TEAO (totalmente cerrados sin ventilación, totalmente cerrados con disipación por aire)</li></ol>			

Excepciones	<p>Desde el 01.06.2016</p> <p>"Motores eléctricos" cubiertos bajo la Energy Conservation Standards for Commercial and Industrial Motors, Final rule: 2014 son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Motores de inducción, de una sola velocidad;</li> <li>2. Diseñados para uso continuo (MG1) o para S1 (IEC);</li> <li>3. Con rotor de jaula de ardilla (MG1) o rotor de jaula (IEC);</li> <li>4. Construidos según tamaño de carcasa NEMA de 3 o 4 dígitos (o dimensiones IEC equivalentes), incluyendo aquellos diseños entre dos tamaños de carcasa NEMA consecutivos (o dimensiones IEC equivalentes) o un tamaño de carcasa 56 NEMA (o IEC equivalente);</li> <li>5. Motores que cumplan todos los requerimientos de diseño de un motor NEMA diseño A, B o C o un motor IEC diseño N o H.</li> </ol> <p>Excepciones de acuerdo a "Motores eléctricos" cubiertos bajo la Energy Conservation Standards for Commercial and Industrial Motors, Final rule: 2014:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Motores eléctricos "air-over";</li> <li>2. Conjuntos de componentes de un motor eléctrico;</li> <li>3. Motores eléctricos refrigerados por agua;</li> <li>4. Motores eléctricos sumergibles;</li> <li>5. Motores eléctricos para uso sólo con variador de frecuencia.</li> </ol>
-------------	--

Tabla 24. Mínimos requerimientos de Eficiencia en motores eléctricos. ESTADOS UNIDOS [16]

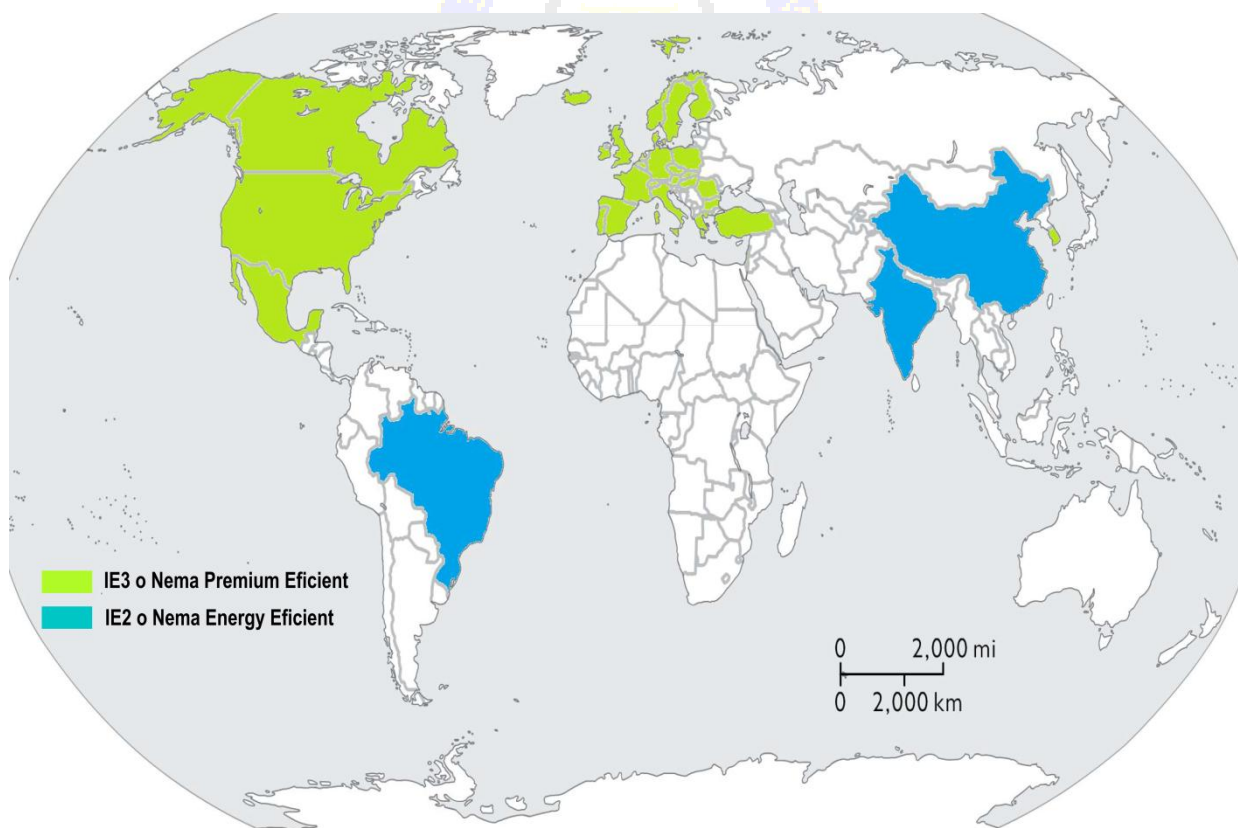
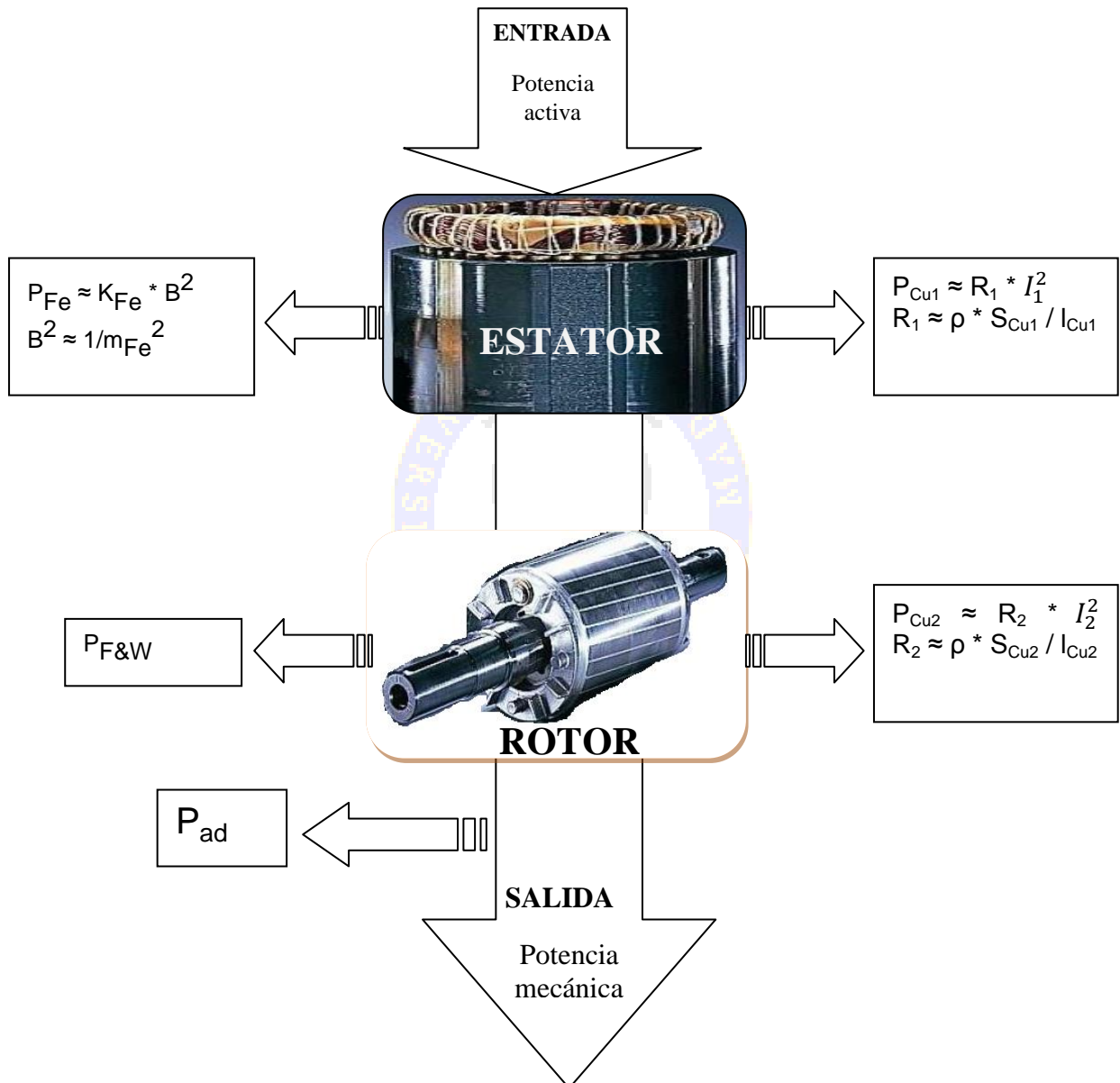


Gráfico 37. Mapa mundial con mínimas clases de eficiencia para motores eléctricos

### 3.9 Comparación técnica entre motores eléctricos de distinta eficiencia

La diferencia tecnológica entre motores asíncronos con diferentes niveles o clases de eficiencia se basa principalmente en la obtención de un mayor rendimiento gracias a la reducción de las pérdidas que se producen en el motor intrínsecas al diseño de este, es decir, para un motor con las mismas características nominales de potencia, número de polos, par, tensión nominal, etc. se puede conseguir un mayor rendimiento y por lo tanto una clase de eficiencia distinta (IE1, IE2, IE3, IE4) gracias a la mayor calidad y cantidad de las partes activas del motor.



La potencia total consumida por un motor consiste en la potencia mecánica utilizada para accionar la carga y la pérdida de potencia en forma de calor. Estas pérdidas se pueden dividir en dos categorías: las pérdidas fijas y las pérdidas relacionadas con la carga.

### **Pérdidas fijas**

Las pérdidas fijas incluyen las pérdidas en el núcleo (aproximadamente el 25% de las pérdidas totales) que se componen de las pérdidas por histéresis y las pérdidas por corrientes parásitas debido al material magnético utilizado. Las pérdidas por histéresis se pueden reducir mediante el uso de láminas de acero de alta calidad, y las pérdidas por corriente parásitas pueden ser reducidas mediante el uso de laminaciones más delgadas. Las pérdidas en el núcleo también se pueden reducir mediante el alargamiento de éste lo que permite reducir la densidad de flujo magnético requerida.

Las pérdidas por refrigeración y las pérdidas de fricción (aproximadamente el 5% de las pérdidas totales) son el resultado de las pérdidas de rozamiento en cojinetes (rodamientos) y la fricción del aire cuando el rotor está girando. La mejora de diseños de rodamientos y del diseño del ventilador para mejorar el flujo de aire reducirán estas pérdidas; Adicionalmente cuando el resto de pérdidas se reducen implica que los requerimientos para disipar el calor producido por las diferentes pérdidas son menores y por lo tanto puede utilizarse un ventilador más pequeño.

### **Pérdidas variables con la carga**

Las pérdidas relacionadas con la carga que acciona el motor incluyen las pérdidas en el cobre del estator (aproximadamente el 35% de las pérdidas totales) que son las pérdidas  $I^2R$  de los conductores del estator. Las pérdidas en el cobre del estator se pueden reducir mediante el aumento de las ranuras del estator y el uso de conductores de sección transversal más grande. Desarrollando tecnologías que aumenten más la tasa de ocupación ranura-bobinado del estator, acortando más los llamados "extremos de la bobina", por ejemplo, las partes de las bobinas que se extienden más allá de las ranuras para el bobinado. Con las nuevas tecnologías de devanado y los métodos de bobinado de alta densidad, se pueden desarrollar e implementar tecnologías de fabricación e inserción de las bobinas para reducir dichas pérdidas. Las pérdidas en el cobre del rotor (alrededor de 25% de las pérdidas totales) son las pérdidas  $I^2R$  en los conductores de las barras del rotor y se puede disminuir mediante el aumento de la sección transversal de las barras del rotor y los anillos extremos, y también mediante la mejora de la calidad de la unión entre las barras y los anillos extremos del rotor para disminuir la resistencia inherente a los materiales conductores. Dos posibilidades para la disminución de estas pérdidas serían la aplicación de la tecnología de forja en estado fundido del aluminio en lugar de conductores de aluminio fundido con el fin de obtener conductores de mayor densidad con un menor número de huecos intersticiales, y la mejora de tecnologías de fabricación para conductores de cobre, que tienen resistencias inherentes más bajas que los conductores de aluminio.

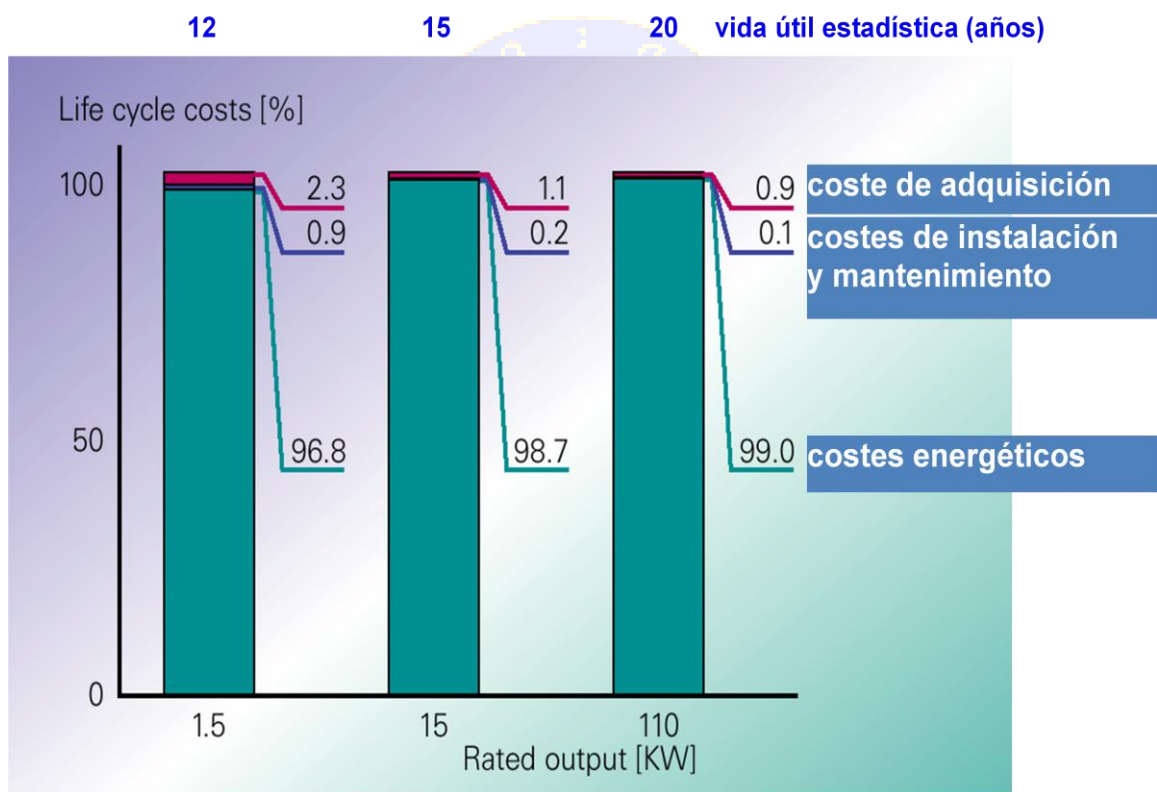
Las pérdidas de carga adicionales o de flujo disperso (aproximadamente 10% de las pérdidas totales) resultan del flujo inducido por la corriente y varían con el cuadrado de la carga. Estas han sido difíciles de analizar cuantitativamente en el pasado, considerando la dificultad en el análisis de la frecuencia fundamental del cobre y las componentes de alta frecuencia que aumentan con la carga, de manera independiente. Los avances en las tecnologías de análisis de campo magnético han hecho posible separar las pérdidas de alta frecuencia en pérdidas relacionadas con el hierro y relacionadas con el cobre, por lo que es posible analizar con mayor precisión las pérdidas que se producen en los estatores, los rotores, los huecos, etc. Esto permite analizar las pérdidas de flujo disperso cuantitativamente y validar los resultados analíticos de forma experimental, produciendo importantes reducciones en las pérdidas de flujo disperso que anteriormente dependían exclusivamente de métodos empíricos.

### 3.10 Caso práctico. Estudio comparativo de eficiencia en motores eléctricos

Para la realización de la comparativa tomaremos un mismo tipo o diseño de motor de un mismo fabricante, tres valores de potencia significativas para motores de pequeña potencia, mediana potencia y gran potencia, los valores de eficiencia o rendimiento para los 4 niveles de eficiencia actuales IE1, IE2, IE3 e IE4.

Principalmente podemos analizar con esta comparativa el ahorro energético entre las diferentes clases de eficiencia así como el ahorro económico para el ciclo de vida del motor y el tiempo de amortización de la inversión entre las distintas alternativas, tomando para ello la vida útil estimada del motor, el precio del motor o coste de adquisición, los costes energéticos, el tiempo en servicio u horas de trabajo del motor al año, y los costes de instalación y mantenimiento.

Si se analizan los costes totales durante la vida útil de un motor de baja tensión, se verá que de media los costes energéticos representan un 97%, el coste de adquisición del motor un 2% y los costes de mantenimiento un 1% de los costes totales. Es decir, un motor consume a lo largo de su vida útil una media de 50 veces más de lo que costó en su compra.



Source: stat. motor lifetime DKI information leaflet 09/99, Page 10

**Gráfico 38. Proporción de costes de un motor eléctrico durante su ciclo de vida.**



Los datos necesarios para los cálculos podemos tomarlos de los datos que aporta el fabricante en su catálogo técnico, de las listas de precios, de estimaciones y de fuentes de información teniendo:

- Tipo de motor: Motor de inducción trifásico, 4 polos, tensión nominal 400 V, 50 Hz
- Potencia nominal del motor o potencia mecánica en el eje
- Rendimiento del motor nominal y rendimiento en función de la carga (2/4, 3/4, 4/4)
- Perfil de funcionamiento del motor (horas de trabajo para cada nivel de carga)
- Horas de funcionamiento del motor al día y días de funcionamiento al año para cada caso de estudio
- Factor de emisiones de CO<sub>2</sub> (\*)
- Coste kWh industrial (\*\*)
- Vida útil estimada del motor (\*\*\*)
- Precio venta del motor y descuento
- Coste de instalación y mantenimiento estimado (\*\*\*\*)

Para la comparativa con los distintos niveles o clases de eficiencia se tomará como referencia un motor IE1, de potencias 1,1 kW, 11 kW y 110 kW para cuatro perfiles de funcionamiento en función de las horas totales de funcionamiento al año.

**Caso 1.** Funcionamiento 24 horas al día, 2184 horas al año (**T<sub>1</sub>= 91 días/año**)

**Caso 2.** Funcionamiento 24 horas al día, 4368 horas al año (**T<sub>2</sub>= 182 días/año**)

**Caso 3.** Funcionamiento 24 horas al día, 6576 horas al año (**T<sub>3</sub>= 274 días/año**)

**Caso 4.** Funcionamiento 24 horas al día, 8760 horas al año (**T<sub>4</sub>= 365 días/año**)

También se tendrá en cuenta para cada uno de estos perfiles de funcionamiento el tiempo de funcionamiento del motor en cada régimen de carga (2/4, 3/4 y 4/4), se ha tomado el mismo perfil para todos los casos.

Tiempo de funcionamiento a 2/4 de carga: **t<sub>2/4</sub>= 6 horas/día**

Tiempo de funcionamiento a 3/4 de carga: **t<sub>3/4</sub>= 6 horas/día**

Tiempo de funcionamiento a 4/4 de carga: **t<sub>4/4</sub>= 12 horas/día**

(\*) Emisiones de CO<sub>2</sub> sobre consumo final de electricidad (Kt CO<sub>2</sub>/GWh) 2013 según Libro de la Energía en España 2013

(\*\*) Valor según tarifas IDAE 2014 PRECIO NETO DE LA ELECTRICIDAD PARA USO DOMÉSTICO Y USO INDUSTRIAL;( act. 03/06/2015)

(\*\*\*) Vida media del motor según IEEE 112-B (2004)

(\*\*\*\*) Estimación de costes de mantenimiento e instalación respecto al coste total del ciclo de vida del motor según stat. motor lifetime DKI information leaflet 09/99, Page 10





Para la obtención de los distintos valores a estudiar de manera comparativa, para cada uno de los casos seguiremos los siguientes cálculos:

$$P_S (2/4) = P_N \cdot \frac{2}{4} \quad (1)$$

$$P_S (3/4) = P_N \cdot \frac{3}{4} \quad (2)$$

$$P_S (4/4) = P_N \quad (3)$$

$P_S (2/4)$  Potencia salida en el eje o demandada a 2/4 de carga  
 $P_S (3/4)$  Potencia salida en el eje o demandada a 3/4 de carga  
 $P_S (4/4)$  Potencia salida en el eje o demandada a 4/4 de carga

$$\text{Consumo energético (2/4)} = P_S (2/4) \cdot \frac{1}{\eta(2/4)} \cdot t_{2/4} \cdot T \quad (4)$$

$$\text{Consumo energético (3/4)} = P_S (3/4) \cdot \frac{1}{\eta(3/4)} \cdot t_{3/4} \cdot T \quad (5)$$

$$\text{Consumo energético (4/4)} = P_S (4/4) \cdot \frac{1}{\eta(4/4)} \cdot t_{4/4} \cdot T \quad (6)$$

Consumo energético (2/4): Energía consumida por el motor funcionando a 2/4 de carga según el tiempo de funcionamiento  
Consumo energético (3/4): Energía consumida por el motor funcionando a 3/4 de carga según el tiempo de funcionamiento  
Consumo energético (4/4): Energía consumida por el motor funcionando a 4/4 de carga según el tiempo de funcionamiento  
T: Tiempo de funcionamiento total al año para cada caso, teniendo:  
 $T_1 = 91$  días/año  
 $T_2 = 182$  días/año  
 $T_3 = 274$  días/año  
 $T_4 = 365$  días/año

$$\text{Consumo energético total} = \sum \text{Consumos energéticos (2/4, 3/4, 4/4)} \quad (7)$$

Consumo energético total: Energía total consumida por el motor al año

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \text{Consumo energético total} \cdot f_e \quad (8)$$

Emisiones de CO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub> equivalente emitido a la atmósfera para generar la energía consumida  
 $f_e$ : Factor de emisiones de CO<sub>2</sub> sobre consumo final de electricidad  
(0,29 KgCO<sub>2</sub>/kWh) (\*)



$$\text{Ahorro energético total} = \text{Consumo energético total (IE1)} - \text{Consumo energético total} \quad (9)$$

Ahorro energético total: Diferencia consumo eléctrico total al año del motor con respecto al caso base IE1

Consumo energético total (IE1): Consumo eléctrico total al año del motor IE1  
Consumo energético total: Consumo eléctrico total al año del motor a comparar (IE2, IE3 o IE4)

$$\text{Ahorro coste energético} = \text{Ahorro energético total} \cdot \text{Coste Kwh industrial} \quad (10)$$

Ahorro coste energético: Diferencia coste eléctrico total al año del motor con respecto al caso base IE1

Coste kWh industrial: 0,099 €/kWh (\*\*)

$$t_A = \frac{\text{Precio neto del motor (IE1)} - \text{Precio neto del motor}}{\text{Ahorro coste energético}} \quad (11)$$

$t_A$ : Tiempo amortización de la inversión  
Precio neto del motor (IE1): Precio de venta del motor (IE1) con el descuento aplicado (información del fabricante)  
Precio neto del motor: Precio de venta del motor a comparar con el descuento aplicado (información del fabricante)

$$\text{Ahorro costes energéticos CDV} = \text{Ahorro coste energético} \cdot \text{Vida útil} \quad (12)$$

Ahorro costes energéticos CDV: Ahorro de costes energéticos durante la vida útil estimada del motor

Vida útil: Vida útil estimada del motor (\*\*\*)  
1,1 kW: 12 años  
11 kW: 15 años  
110 kW: 20 años

$$\text{Costes totales CDV} = \text{Costes energéticos} + \text{Costes de adquisición} + \text{Costes mantenimiento e instalación} \quad (13)$$

$$\text{Costes energéticos CDV} = \text{Consumo energético total} \cdot \text{Coste Kwh} \cdot \text{Vida útil motor} \quad (***) \quad (14)$$

$$\text{Costes adquisición} = \text{Precio neto del motor}$$

$$\text{Costes mantenimiento e instalación} = \% \text{ Costes totales CDV}$$

Costes totales CDV: Costes totales energéticos durante la vida útil del motor

Costes de adquisición: Precio de venta del motor a comparar con el descuento aplicado (información del fabricante)

Costes de mantenimiento e instalación: Valor estimado en % de los costes totales CDV según la potencia del motor. (\*\*\*\*)  
1,1 kW: 9%  
11 kW: 0,2 %  
110 kW: 0,1 %



### CASO BASE: MOTOR IE1 1,1 kW

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184						
Pn	1,1	kW						
Tipo motor:	1LA7090-4AA10							
Fabricante:	Siemens							
P s (2/4)	0,55	μ (2/4)	73,2	t (2/4)	6	h	T1: 91 días/año	
P s (3/4)	0,83	μ (3/4)	76,2	t (3/4)	6	h		
P s (4/4)	1,1	μ (4/4)	76,2	t (4/4)	12	h		
Consumo energético (2/4) =		410,25	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		594,72	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		1576,38	kWh/año					
Consumo energético Total =		2581,35	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		748,59	KgCO2/año					
Coste kW/h industrial:		0,099 €						
Vida útil estimada:		12	años					
Costes totales CDV:		3.228,60 €						
Costes energéticos CDV:		3.066,64 €						
Precio Venta del motor		443,00 €	Descuento: 70%					
Costes de adquisición:		132,90 €						
Costes instalación y mantenimiento (9%)		29,06 €						

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368						
Pn	1,1	kW					T2: 182 días/año	
Tipo motor:	1LA7090-4AA10							
Fabricante:	Siemens							
P s (2/4)	0,55	μ (2/4)	73,2	t (2/4)	6	h		
P s (3/4)	0,83	μ (3/4)	76,2	t (3/4)	6	h		
P s (4/4)	1,1	μ (4/4)	76,2	t (4/4)	12	h		
Consumo energético (2/4) =		820,49	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		1189,45	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		3152,76	kWh/año					
Consumo energético Total =		5162,70	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		1497,18	KgCO <sub>2</sub> /año					
Coste kW/h industrial:		0,099 €						
Vida útil estimada:		12	años					
Costes totales CDV:		6.323,09 €						
Costes energéticos CDV:		6.133,28 €						
Precio Venta del motor		443,00 €	Descuento: 70%					
Costes de adquisición:		132,90 €						
Costes instalación y mantenimiento (9%)		56,91 €						



Caso 3: Horas de trabajo al año		6576						
Pn		<b>1,1</b>			kW			
Tipo:		1LA7090-4AA10						
Fabricante:		Siemens						
P s (2/4)		<b>0,55</b>	μ (2/4)	<b>73,2</b>	t (2/4)	<b>6</b>	h	<b>T3: 274 días/año</b>
P s (3/4)		<b>0,83</b>	μ (3/4)	<b>76,2</b>	t (3/4)	<b>6</b>	h	
P s (4/4)		<b>1,1</b>	μ (4/4)	<b>76,2</b>	t (4/4)	<b>12</b>	h	
Consumo energético (2/4) = 1235,25 kWh/año								
Consumo energético (3/4) = 1790,71 kWh/año								
Consumo energético (4/4) = 4746,46 kWh/año								
Consumo energético Total = <b>7772,41</b> kWh/año								
Emisiones CO <sub>2</sub> : <b>2254,00</b> KgCO <sub>2</sub> /año								
Coste kW/h industrial: <b>0,099 €</b>								
Vida útil estimada: <b>12</b> años								
Costes totales CDV: 9.451,59 €								
Costes energéticos CDV: 9.233,62 €								
Precio Venta del motor 443,00 € Descuento: 70%								
Costes de adquisición: <b>132,90 €</b>								
Costes instalación y mantenimiento (9%) 85,06 €								

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760						
Pn		<b>1,1</b>			kW			
Tipo:		1LA7090-4AA10						
Fabricante:		Siemens						
P s (2/4)		<b>0,55</b>	μ (2/4)	<b>73,2</b>	t (2/4)	<b>6</b>	h	<b>T4: 365 días/año</b>
P s (3/4)		<b>0,83</b>	μ (3/4)	<b>76,2</b>	t (3/4)	<b>6</b>	h	
P s (4/4)		<b>1,1</b>	μ (4/4)	<b>76,2</b>	t (4/4)	<b>12</b>	h	
Consumo energético (4/4) = 6322,83 kWh/año								
Consumo energético Total = <b>10353,76</b> kWh/año								
Consumo energético (2/4) = 1645,49 kWh/año								
Consumo energético (3/4) = 2385,43 kWh/año								
Emisiones CO <sub>2</sub> : <b>3002,59</b> KgCO <sub>2</sub> /año								
Coste kW/h industrial: <b>0,099 €</b>								
Vida útil estimada: <b>12</b> años								
Costes totales CDV: 12.546,08 €								
Costes energéticos CDV: 12.300,27 €								
Precio Venta del motor 443,00 € Descuento: 70%								
Costes de adquisición: <b>132,90 €</b>								
Costes instalación y mantenimiento (9%) 112,91 €								



### MOTOR IE2 vs. IE1 1,1 kW:

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184					
Pn		1,1	kW				
Tipo:		1LE1001-OEB02-2AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		0,55					μ (2/4)
P s (3/4)		0,83	μ (3/4)	81,7	t (3/4)	6	h
P s (4/4)		1,1	μ (4/4)	81,4	t (4/4)	12	h
Consumo energético (2/4) =	375,84	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =	554,69	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =	1475,68	kWh/año					
Consumo energético Total =	2406,21	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :	697,80	KgCO2/año					
Ahorro energético total	175,14	kWh/año					
Coste kWh industrial:	0,099 €						
Ahorro coste energético	17,34 €						
t <sub>A</sub>	2,42	años					
Vida util estimada	12	años					
Ahorro costes energéticos CDV	208,07 €						
Costes totales CDV:	3.061,02 €						
Costes energéticos CDV:	2.858,58 €						
Precio Venta del motor	583,00 €	Descuento: 70%					
Costes de adquisición:	174,90 €						
Costes instalación y mantenimiento (9%)	27,55 €						

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368					
Pn		1,1	kW				
Tipo:		1LE1001-OEB02-2AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		0,55	μ (2/4)	79,9	t (2/4)	6	T2 182 días/año
P s (3/4)		0,83	μ (3/4)	81,7	t (3/4)	6	
P s (4/4)		1,1	μ (4/4)	81,4	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		751,69	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		1109,38	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		2951,35	kWh/año				
Consumo energético Total =		4812,42	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		1395,60	KgCO2/año				
Ahorro energético total		350,28	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		34,68 €					
t <sub>A</sub>		1,21	años				
Vida util estimada		12					
Ahorro costes energéticos CDV		416,13 €					
Costes totales CDV:		5.945,56 €					
Costes energéticos CDV:		5.717,15 €					
Precio Venta del motor		583,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		174,90 €					
Costes instalación y mantenimiento (9%)		53,51 €					



Caso 3: Horas de trabajo al año		6576							
Pn		1,1	kW						
Tipo:		1LE1001-0EB02-2AA4							
Fabricante:		Siemens							
P s (2/4)		0,55	μ (2/4)	79,9	t (2/4)	6	h	T3 274	dias/año
P s (3/4)		0,83	μ (3/4)	81,7	t (3/4)	6			
P s (4/4)		1,1	μ (4/4)	81,4	t (4/4)	12			
Consumo energético (2/4) =		1131,66	kWh/año						
Consumo energético (3/4) =		1670,16	kWh/año						
Consumo energético (4/4) =		4443,24	kWh/año						
Consumo energético Total =		7245,07	kWh/año						
Emisiones CO <sub>2</sub> :		2101,07	KgCO2/año						
Ahorro energético total		527,34	kWh/año						
Coste kWh industrial:		0,099 €							
Ahorro coste energético		52,21 €							
t <sub>A</sub>		0,80	años						
Vida util estimada		12							
Ahorro costes energéticos CDV		626,49 €							
Costes totales CDV:		8.861,80 €							
Costes energéticos CDV:		8.607,14 €							
Precio Venta del motor		583,00 €	Descuento: 70%						
Costes de adquisición:		174,90 €							
Costes instalación y mantenimiento (9%)		79,76 €							

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760						
Pn		1,1	kW					
Tipo:		1LE1001-0EB02-2AA4						
Fabricante:		Siemens						
P s (2/4)		0,55	μ (2/4)	79,9	t (2/4)	6	h	T4 365 días/año
P s (3/4)		0,83	μ (3/4)	81,7	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)		1,1	μ (4/4)	81,4	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		1507,51	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		2224,85	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		5918,92	kWh/año					
Consumo energético Total =		9651,28	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		2798,87	KgCO <sub>2</sub> /año					
Ahorro energético total		702,48	kWh/año					
Coste kWh industrial:		0,099 €						
Ahorro coste energético		69,55 €						
t <sub>A</sub>		0,60	años					
Vida util estimada		12						
Ahorro costes energéticos CDV		834,55 €						
Costes totales CDV:		11.746,33 €						
Costes energéticos CDV:		11.465,72 €						
Precio Venta del motor		583,00 €	Descuento:		70%			
Costes de adquisición:		174,90 €						
Costes instalación y mantenimiento (9%)		105,72 €						





### MOTOR IE3 vs. IE1 1,1 kW:

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184					
Pn		1,1	kW				
Tipo:		1LE1003-0EB02-2AA4					
Fabricante:							
P s (2/4)		0,55	μ (2/4)	83,5	t (2/4)	6	T1 91 días/año
P s (3/4)		0,83	μ (3/4)	84,6	t (3/4)	6	
P s (4/4)		1,1	μ (4/4)	84,1	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		359,64	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		535,67	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		1428,30	kWh/año				
Consumo energético Total =		2323,61	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		673,85	KgCO2/año				
Ahorro energético total		257,73	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		25,52 €					
t <sub>A</sub>		3,02	años				
Vida util estimada		12	años				
Ahorro costes energéticos CDV		306,19 €					
Costes totales CDV:		2.997,43 €					
Costes energéticos CDV:		2.760,45 €					
Precio Venta del motor		700,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		210,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (9%)		26,98 €					

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368						
Pn		1,1	kW					
Tipo:		1LE1003-0EB02-2AA4						
Fabricante:								
P s (2/4)		0,55	μ (2/4)	83,5	t (2/4)	6	h	T2 182 días/año
P s (3/4)		0,83	μ (3/4)	84,6	t (3/4)	6		
P s (4/4)		1,1	μ (4/4)	84,1	t (4/4)	12		
Consumo energético (2/4) =		719,28	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		1071,35	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		2856,60	kWh/año					
Consumo energético Total =		4647,23	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		1347,70	KgCO2/año					
Ahorro energético total		515,47	kWh/año					
Coste kWh industrial:		0,099 €						
Ahorro coste energético		51,03 €						
t <sub>A</sub>		1,51	años					
Vida util estimada		12	años					
Ahorro costes energéticos CDV		612,38 €						
Costes totales CDV:		5.782,95 €						
Costes energéticos CDV:		5.520,91 €						
Precio Venta del motor		700,00 €	Descuento:		70%			
Costes de adquisición:		210,00 €						
Costes instalación y mantenimiento (9%)		52,05 €						



Caso 3: Horas de trabajo al año		6576					
Pn		<b>1,1</b>	kW				
Tipo:		1LE1003-0EB02-2AA4					
Fabricante:							
P s (2/4)		<b>0,55</b>	$\mu$ (2/4)	<b>83,5</b>	t (2/4)	<b>6</b>	<b>T3 274</b> días/año
P s (3/4)		<b>0,83</b>	$\mu$ (3/4)	<b>84,6</b>	t (3/4)	<b>6</b>	
P s (4/4)		<b>1,1</b>	$\mu$ (4/4)	<b>84,1</b>	t (4/4)	<b>12</b>	
Consumo energético (2/4) = 1082,87 kWh/año							
Consumo energético (3/4) = 1612,91 kWh/año							
Consumo energético (4/4) = 4300,59 kWh/año							
Consumo energético Total = 6996,38 kWh/año							
Emisiones CO <sub>2</sub> : 2028,95 KgCO <sub>2</sub> /año							
Ahorro energético total 776,03 kWh/año							
Coste kWh industrial: 0,099 €							
Ahorro coste energético 76,83 €							
t <sub>A</sub> 1,00 años							
Vida util estimada 12 años							
Ahorro costes energéticos CDV 921,93 €							
Costes totales CDV: 8.599,09 €							
Costes energéticos CDV: 8.311,70 €							
Precio Venta del motor 700,00 € Descuento: 70%							
Costes de adquisición: 210,00 €							
Costes instalación y mantenimiento (9%) 77,39 €							

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760					
Pn		<b>1,1</b>	kW				
Tipo:		1LE1003-0EB02-2AA4					
Fabricante:							
P s (2/4)		<b>0,55</b>	$\mu$ (2/4)	<b>83,5</b>	t (2/4)	<b>6</b>	<b>T4 365</b> días/año
P s (3/4)		<b>0,83</b>	$\mu$ (3/4)	<b>84,6</b>	t (3/4)	<b>6</b>	
P s (4/4)		<b>1,1</b>	$\mu$ (4/4)	<b>84,1</b>	t (4/4)	<b>12</b>	
Consumo energético (2/4) = 1442,51 kWh/año							
Consumo energético (3/4) = 2148,58 kWh/año							
Consumo energético (4/4) = 5728,89 kWh/año							
Consumo energético Total = 9319,99 kWh/año							
Emisiones CO <sub>2</sub> : 2702,80 KgCO <sub>2</sub> /año							
Ahorro energético total 1033,77 kWh/año							
Coste kWh industrial: 0,099 €							
Ahorro coste energético 102,34 €							
t <sub>A</sub> 0,75 años							
Vida util estimada 12 años							
Ahorro costes energéticos CDV 1.228,12 €							
Costes totales CDV: 11.384,61 €							
Costes energéticos CDV: 11.072,15 €							
Precio Venta del motor 700,00 € Descuento: 70%							
Costes de adquisición: 210,00 €							
Costes instalación y mantenimiento (9%) 102,46 €							



### MOTOR IE4 vs. IE1 1,1 kW:

En este caso la comparativa no es posible ya que actualmente ningún fabricante de motores tiene este tipo de motores por lo que los datos de rendimiento a distintas cargas son desconocidos, el dato de rendimiento a plena carga tomado es según se indica en la IEC 60034-30 como valor mínimo y tampoco se tienen precios de venta de este tipo de motor de 1,1 kW.

En este caso la única conclusión que podemos sacar es que un motor de esta potencia IE4 funcionando siempre 24 horas al día a plena carga para los distintos casos, con el valor de rendimiento indicado por la norma, tendría un consumo energético mayor que el resto de los motores de eficiencia IE2, IE3 e incluso el caso base con el motor IE1.

<b>Caso 1: Horas de trabajo al año</b>		<b>2184</b>					
P <sub>n</sub>	<b>1,1</b>	kW					
Tipo:	-						
Fabricante:	-						
P <sub>s</sub> (2/4)	<b>0,55</b>	μ (2/4)	-	t (2/4)		h	<b>T1 91 días/año</b>
P <sub>s</sub> (3/4)	<b>0,83</b>	μ (3/4)	-	t (3/4)		h	
P <sub>s</sub> (4/4)	<b>1,1</b>	μ (4/4)	<b>87,2</b>	t (4/4)	<b>24</b>	h	
<b>Consumo energético (2/4) =</b> - kWh/año <b>Consumo energético (3/4) =</b> - kWh/año <b>Consumo energético (4/4) =</b> 2755,05 kWh/año <b>Consumo energético Total =</b> <b>2755,05</b> kWh/año							
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> :</b>		<b>798,96</b>	KgCO <sub>2</sub> /año				
<b>Ahorro energético total</b>		-173,70	kWh/año				
Coste kWh industrial:		<b>0,099 €</b>					
<b>Ahorro coste energético</b>		- <b>17,20 €</b>					
<b>t<sub>A</sub></b>		-	años				
Vida útil estimada		<b>12</b>	años				
<b>Ahorro costes energéticos CDV</b>		- <b>206,35 €</b>					
<b>Costes totales CDV:</b>		3.302,72 €					
<b>Costes energéticos CDV:</b>		3.272,99 €					
Precio Venta del motor			Descuento: 70%				
<b>Costes de adquisición:</b>							
<b>Costes instalación y mantenimiento (9%)</b>		29,72 €					



Caso 2: Horas de trabajo al año		4368						
Pn	1,1		kW					
Tipo:	-							
Fabricante:	-							
P s (2/4)	0,55		μ (2/4)	-	t (2/4)		h	T2 182 días/año
P s (3/4)	0,83		μ (3/4)	-	t (3/4)		h	
P s (4/4)	1,1		μ (4/4)	87,2	t (4/4)	24	h	
Consumo energético (2/4) = - kWh/año								
Consumo energético (3/4) = - kWh/año								
Consumo energético (4/4) = 5510,09 kWh/año								
Consumo energético Total = 5510,09 kWh/año								
Emisiones CO <sub>2</sub> : 1597,93 KgCO <sub>2</sub> /año								
Ahorro energético total -347,40 kWh/año								
Coste kWh industrial: 0,099 €								
Ahorro coste energético - 34,39 €								
t <sub>A</sub> - años								
Vida util estimada 12 años								
Ahorro costes energéticos CDV - 412,71 €								
Costes totales CDV: 6.605,44 €								
Costes energéticos CDV: 6.545,99 €								
Precio Venta del motor Descuento: 70%								
Costes de adquisición:								
Costes instalación y mantenimiento (9%) 59,45 €								

Caso 3: Horas de trabajo al año		6576						
Pn	1,1		kW					
Tipo:	-							
Fabricante:	-							
P s (2/4)	0,55		μ (2/4)	-	t (2/4)		h	T3 274 días/año
P s (3/4)	0,83		μ (3/4)	-	t (3/4)		h	
P s (4/4)	1,1		μ (4/4)	87,2	t (4/4)	24	h	
Consumo energético (2/4) = - kWh/año								
Consumo energético (3/4) = - kWh/año								
Consumo energético (4/4) = 8295,41 kWh/año								
Consumo energético Total = 8295,41 kWh/año								
Emisiones CO <sub>2</sub> : 2405,67 KgCO <sub>2</sub> /año								
Ahorro energético total -523,00 kWh/año								
Coste kWh industrial: 0,099 €								
Ahorro coste energético - 51,78 €								
t <sub>A</sub> - años								
Vida util estimada 12 años								
Ahorro costes energéticos CDV - 621,33 €								
Costes totales CDV: 9.944,45 €								
Costes energéticos CDV: 9.854,95 €								
Precio Venta del motor Descuento: 70%								
Costes de adquisición:								
Costes instalación y mantenimiento (9%) 89,50 €								



Caso 4: Horas de trabajo al año		8760							
Pn		1,1		kW					
Tipo:		-							
Fabricante:		-							
P s (2/4)				μ (2/4)	-	t (2/4)		h	T4 365 días/año
P s (3/4)				μ (3/4)	-	t (3/4)		h	
P s (4/4)		1,1		μ (4/4)	87,2	t (4/4)	24	h	
Consumo energético (2/4) =	-			kWh/año					
Consumo energético (3/4) =	-			kWh/año					
Consumo energético (4/4) =	11050,46			kWh/año					
Consumo energético Total =	11050,46			kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :	3204,63			KgCO2/año					
Ahorro energético total	-8047,87			kWh/año					
Coste kWh industrial:	0,099			€					
Ahorro coste energético	-	796,74		€					
t <sub>A</sub>	-			años					
Vida util estimada		12		años					
Ahorro costes energéticos CDV	-	9.560,87		€					
Costes totales CDV:	13.247,17			€					
Costes energéticos CDV:	13.127,94			€					
Precio Venta del motor				Descuento: 70%					
Costes de adquisición:									
Costes instalación y mantenimiento (9%)	119,22			€					



### CASO BASE: MOTOR IE1 11 kW

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184					
Pn	11		kW				
Tipo motor:	1LE1002-1DB23-4AA4						
Fabricante:	Siemens						
P s (2/4)	5,5	μ (2/4)	86,6	t (2/4)	6	h	T1 91 días/año
P s (3/4)	8,25	μ (3/4)	88	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)	11	μ (4/4)	87,6	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		3467,67	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		5118,75	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		13712,33	kWh/año				
Consumo energético Total =		22298,75	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		6466,64	KgCO <sub>2</sub> /año				
Coste kW/h industrial:		0,099 €					
Vida util estimada:		15 años					
Costes totales CDV:		33.778,19 €					
Costes energéticos CDV:		33.113,64 €					
Precio Venta del motor		1.990,00 €	Descuento: 70%				
Costes de adquisición:		597,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		67,56 €					

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368					
Pn	11		kW				
Tipo motor:	1LE1002-1DB23-4AA4						
Fabricante:							
P s (2/4)	5,5	μ (2/4)	86,6	t (2/4)	6	h	T2 182 días/año
P s (3/4)	8,25	μ (3/4)	88	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)	11	μ (4/4)	87,6	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		6935,33	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		10237,50	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		27424,66	kWh/año				
Consumo energético Total =		44597,49	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		12933,27	KgCO <sub>2</sub> /año				
Coste kW/h industrial:		0,099 €					
Vida util estimada:		15 años					
Costes totales CDV:		66.958,19 €					
Costes energéticos CDV:		66.227,28 €					
Precio Venta del motor		1.990,00 €	Descuento: 70%				
Costes de adquisición:		597,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		133,92 €					



Caso 3: Horas de trabajo al año		6576					
Pn	11	kW					
Tipo motor:	1LE1002-1DB23-4AA4						
Fabricante:	Siemens						
P s (2/4)	5,5	μ (2/4)	86,6	t (2/4)	6	T3 274 días/año	
P s (3/4)	8,25	μ (3/4)	88	t (3/4)	6		
P s (4/4)	11	μ (4/4)	87,6	t (4/4)	12		
Consumo energético (2/4) =		10441,11	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		15412,50	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		41287,67	kWh/año				
Consumo energético Total =		67141,28	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		19470,97	KgCO2/año				
Coste kW/h industrial:		0,099 €					
Vida util estimada:		15 años					
Costes totales CDV:		100.502,81 €					
Costes energéticos CDV:		99.704,80 €					
Precio Venta del motor		1.990,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		597,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		201,01 €					

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760					
Pn	11	kW					
Tipo motor:	1LE1002-1DB23-4AA4						
Fabricante:							
P s (2/4)	5,5	μ (2/4)	86,6	t (2/4)	6	T4 365 días/año	
P s (3/4)	8,25	μ (3/4)	88	t (3/4)	6		
P s (4/4)	11	μ (4/4)	87,6	t (4/4)	12		
Consumo energético (2/4) =		13908,78	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		20531,25	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		55000,00	kWh/año				
Consumo energético Total =		89440,03	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		25937,61	KgCO2/año				
Coste kW/h industrial:		0,099 €					
Vida util estimada:		15 años					
Costes totales CDV:		133.682,80 €					
Costes energéticos CDV:		132.818,44 €					
Precio Venta del motor		1.990,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		597,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		267,37 €					





### MOTOR IE2 vs. IE1 11 kW:

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184					
Pn	11	kW					
Tipo:	1LE1001-1DB23-4AA4						
Fabricante:	Siemens						
P s (2/4)	5,5	μ (2/4)	88,8	t (2/4)	6	T1 91 días/año	
P s (3/4)	8,25	μ (3/4)	89,8	t (3/4)	6		
P s (4/4)	11	μ (4/4)	89,8	t (4/4)	12		
Consumo energético (2/4) =	3381,76	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =	5016,15	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =	13376,39	kWh/año					
Consumo energético Total =	21774,30	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :	6314,55	KgCO <sub>2</sub> /año					
Ahorro energético total	524,45	kWh/año					
Coste kWh industrial:	0,099 €						
Ahorro coste energético	51,92 €						
t <sub>A</sub>	2,89	años					
Vida util estimada	15	años					
Ahorro costes energéticos CDV	778,81 €						
Costes totales CDV:	33.148,13 €						
Costes energéticos CDV:	32.334,83 €						
Precio Venta del motor	2.490,00 €	Descuento: 70%					
Costes de adquisición:	747,00 €						
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)	66,30 €						

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368					
Pn		11					kW
Tipo:		1LE1001-1DB23-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		5,5	μ (2/4)	88,8	t (2/4)	6	T2 182 días/año
P s (3/4)		8,25	μ (3/4)	89,8	t (3/4)	6	
P s (4/4)		11	μ (4/4)	89,8	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		6763,51	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		10032,29	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		26752,78	kWh/año				
Consumo energético Total =		43548,59	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		12629,09	KgCO <sub>2</sub> /año				
Ahorro energético total		1048,90	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		103,84 €					
t <sub>A</sub>		1,44	años				
Vida util estimada		15	años				
Ahorro costes energéticos CDV		1.557,62 €					
Costes totales CDV:		65.547,75 €					
Costes energéticos CDV:		64.669,66 €					
Precio Venta del motor		2.490,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		747,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		131,10 €					



Caso 3: Horas de trabajo al año		6576					
Pn		11	kW				
Tipo:		1LE1001-1DB23-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		5,5	μ (2/4)	88,8	t (2/4)	6	T3 274 días/año
P s (3/4)		8,25	μ (3/4)	89,8	t (3/4)	6	
P s (4/4)		11	μ (4/4)	89,8	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		10182,43	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		15103,56	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		40276,17	kWh/año				
Consumo energético Total =		65562,17	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		19013,03	KgCO2/año				
Ahorro energético total		1579,11	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		156,33 €					
t <sub>A</sub>		0,96	años				
Vida util estimada		15	años				
Ahorro costes energéticos CDV		2.344,99 €					
Costes totales CDV:		98.303,42 €					
Costes energéticos CDV:		97.359,82 €					
Precio Venta del motor		2.490,00 €	Descuento: 70%				
Costes de adquisición:		747,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		196,61 €					

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760					
Pn		11	kW				
Tipo:		1LE1001-1DB23-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		5,5	μ (2/4)	88,8	t (2/4)	6	T4 365 días/año
P s (3/4)		8,25	μ (3/4)	89,8	t (3/4)	6	
P s (4/4)		11	μ (4/4)	89,8	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		13564,19	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		20119,71	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		53652,56	kWh/año				
Consumo energético Total =		87336,46	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		25327,57	KgCO <sub>2</sub> /año				
Ahorro energético total		2103,57	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		208,25 €					
t <sub>A</sub>		0,72	años				
Vida util estimada		15	años				
Ahorro costes energéticos CDV		3.123,79 €					
Costes totales CDV:		130.703,05 €					
Costes energéticos CDV:		129.694,64 €					
Precio Venta del motor		2.490,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		747,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		261,41 €					



### MOTOR IE3 vs. IE1 11 kW:

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184					
Pn	11	kW					
Tipo:	1LE1003-1DB23-4AA4						
Fabricante:							
P s (2/4)	5,5	μ (2/4)	90,4	t (2/4)	6	T1 91 días/año	
P s (3/4)	8,25	μ (3/4)	91,4	t (3/4)	6		
P s (4/4)	11	μ (4/4)	91,4	t (4/4)	12		
Consumo energético (2/4) =		3321,90	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		4928,34	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		13142,23	kWh/año				
Consumo energético Total =		21392,47	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		6203,82	KgCO2/año				
Ahorro energético total		906,27	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		89,72 €					
t <sub>A</sub>		2,71	años				
Vida util estimada		15	años				
Ahorro costes energéticos CDV		1.345,82 €					
Costes totales CDV:		32.673,17 €					
Costes energéticos CDV:		31.767,82 €					
Precio Venta del motor		2.800,00 €	Descuento: 70%				
Costes de adquisición:		840,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		65,35 €					

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368						
Pn		11	kW					
Tipo:		1LE1003-1DB23-4AA4						
Fabricante:								
P s (2/4)		5,5	μ (2/4)	90,4	t (2/4)	6	h	T2 182 días/año
P s (3/4)		8,25	μ (3/4)	91,4	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)		11	μ (4/4)	91,4	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		6643,81	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		9856,67	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		26284,46	kWh/año					
Consumo energético Total =		42784,94	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		12407,63	KgCO <sub>2</sub> /año					
Ahorro energético total		1812,55	kWh/año					
Coste kWh industrial:		0,099 €						
Ahorro coste energético		179,44 €						
t <sub>A</sub>		1,35	años					
Vida util estimada		15	años					
Ahorro costes energéticos CDV		2.691,64 €						
Costes totales CDV:		64.504,65 €						
Costes energéticos CDV:		63.535,64 €						
Precio Venta del motor		2.800,00 €	Descuento:		70%			
Costes de adquisición:		840,00 €						
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		129,01 €						



Caso 3: Horas de trabajo al año		6576				
Pn	11	kW				
Tipo:	1LE1003-1DB23-4AA4					
Fabricante:						
P s (2/4)	5,5	μ (2/4)	90,4	t (2/4)	6	T3 274 días/año
P s (3/4)	8,25	μ (3/4)	91,4	t (3/4)	6	
P s (4/4)	11	μ (4/4)	91,4	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		10002,21	kWh/año			
Consumo energético (3/4) =		14839,17	kWh/año			
Consumo energético (4/4) =		39571,12	kWh/año			
Consumo energético Total =		64412,50	kWh/año			
Emisiones CO <sub>2</sub> :		18679,62	KgCO2/año			
Ahorro energético total		2728,78	kWh/año			
Coste kWh industrial:		0,099 €				
Ahorro coste energético		270,15 €				
t <sub>A</sub>		0,90	años			
Vida util estimada		15	años			
Ahorro costes energéticos CDV		4.052,24 €				
Costes totales CDV:		96.685,93 €				
Costes energéticos CDV:		95.652,56 €				
Precio Venta del motor		2.800,00 €	Descuento:		70%	
Costes de adquisición:		840,00 €				
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		193,37 €				

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760						
Pn		11	kW					
Tipo:		1LE1003-1DB23-4AA4						
Fabricante:								
P s (2/4)		5,5	μ (2/4)	90,4	t (2/4)	6	h	T4 365 días/año
P s (3/4)		8,25	μ (3/4)	91,4	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)		11	μ (4/4)	91,4	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		13324,12	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		19767,51	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		52713,35	kWh/año					
Consumo energético Total =		85804,97	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		24883,44	KgCO <sub>2</sub> /año					
Ahorro energético total		3635,06	kWh/año					
Coste kWh industrial:		0,099 €						
Ahorro coste energético		359,87 €						
t <sub>A</sub>		0,68	años					
Vida util estimada		15	años					
Ahorro costes energéticos CDV		5.398,06 €						
Costes totales CDV:		128.517,41 €						
Costes energéticos CDV:		127.420,38 €						
Precio Venta del motor		2.800,00 €	Descuento:		70%			
Costes de adquisición:		840,00 €						
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		257,03 €						



### MOTOR IE4 vs. IE1 11 kW:

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184					
Pn	11	kW					
Tipo:							
Fabricante:	1LE1004-1DB23-4AA4						
P s (2/4)	5,5	μ (2/4)	92,9	t (2/4)	6	T1 91 días/año	
P s (3/4)	8,25	μ (3/4)	93,5	t (3/4)	6		
P s (4/4)	11	μ (4/4)	93,3	t (4/4)	12		
Consumo energético (2/4) =		3232,51	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		4817,65	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		12874,60	kWh/año				
Consumo energético Total =		20924,75	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		6068,18	KgCO2/año				
Ahorro energético total		1373,99	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		136,03 €					
t <sub>A</sub>		3,09	años				
Vida util estimada		15	años				
Ahorro costes energéticos CDV		2.040,38 €					
Costes totales CDV:		32.154,57 €					
Costes energéticos CDV:		31.073,26 €					
Precio Venta del motor		3.390,00 €	Descuento: 70%				
Costes de adquisición:		1.017,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		64,31 €					

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368					
Pn		11	kW				
Tipo:		1LE1004-1DB23-4AA4					
Fabricante:							
P s (2/4)		5,5	μ (2/4)	92,9	t (2/4)	6	T2 182 días/año
P s (3/4)		8,25	μ (3/4)	93,5	t (3/4)	6	
P s (4/4)		11	μ (4/4)	93,3	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		6465,02	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		9635,29	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		25749,20	kWh/año				
Consumo energético Total =		41849,51	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		12136,36	KgCO2/año				
Ahorro energético total		2747,99	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		272,05 €					
t <sub>A</sub>		1,54	años				
Vida util estimada		15	años				
Ahorro costes energéticos CDV		4.080,76 €					
Costes totales CDV:		63.290,10 €					
Costes energéticos CDV:		62.146,52 €					
Precio Venta del motor		3.390,00 €	Descuento:			70%	
Costes de adquisición:		1.017,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		126,58 €					



Caso 3: Horas de trabajo al año		6576						
Pn		11	kW					
Tipo:		1LE1004-1DB23-4AA4						
Fabricante:								
P s (2/4)		5,5	μ (2/4)	92,9	t (2/4)	6	h	T3 274 días/año
P s (3/4)		8,25	μ (3/4)	93,5	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)		11	μ (4/4)	93,3	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		9733,05	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		14505,88	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		38765,27	kWh/año					
Consumo energético Total =		63004,20	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		18271,22	KgCO2/año					
Ahorro energético total		4137,08	kWh/año					
Coste kWh industrial:		0,099 €						
Ahorro coste energético		409,57 €						
t <sub>A</sub>		1,03	años					
Vida util estimada		15	años					
Ahorro costes energéticos CDV		6.143,56 €						
Costes totales CDV:		94.767,78 €						
Costes energéticos CDV:		93.561,24 €						
Precio Venta del motor		3.390,00 €	Descuento:		70%			
Costes de adquisición:		1.017,00 €						
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		189,54 €						

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760				
Pn	11	kW				
Tipo:	1LE1004-1DB23-4AA4					
Fabricante:						
P s (2/4)	5,5	μ (2/4)	92,9	t (2/4)	6	T4 365 días/año
P s (3/4)	8,25	μ (3/4)	93,5	t (3/4)	6	
P s (4/4)	11	μ (4/4)	93,3	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		12965,55	kWh/año			
Consumo energético (3/4) =		19323,53	kWh/año			
Consumo energético (4/4) =		51639,87	kWh/año			
Consumo energético Total =		83928,96	kWh/año			
Emisiones CO <sub>2</sub> :		24339,40	KgCO2/año			
Ahorro energético total		5511,07	kWh/año			
Coste kWh industrial:		0,099 €				
Ahorro coste energético		545,60 €				
t <sub>A</sub>		0,77	años			
Vida util estimada		15	años			
Ahorro costes energéticos CDV		8.183,94 €				
Costes totales CDV:		125.903,31 €				
Costes energéticos CDV:		124.634,50 €				
Precio Venta del motor		3.390,00 €	Descuento:		70%	
Costes de adquisición:		1.017,00 €				
Costes instalación y mantenimiento (0,2%)		251,81 €				



### CASO BASE: MOTOR IE1 110 KW

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184					
Pn	110	kW					
Tipo motor:	1LG4310-4AA60						
Fabricante:	Siemens						
P s (2/4)	55	μ (2/4)	92,7	t (2/4)	6	h	T1 91 días/año
P s (3/4)	82,5	μ (3/4)	93,3	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)	110	μ (4/4)	93,3	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		32394,82	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		48279,74	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		128745,98	kWh/año				
Consumo energético Total =		209420,55	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		60731,96	KgCO <sub>2</sub> /año				
Coste kW/h industrial:		0,099 €					
Vida util estimada:		20 años					
Costes totales CDV:		421.013,69 €					
Costes energéticos CDV:		414.652,68 €					
Precio Venta del motor		19.800,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		5.940,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		421,01 €					

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368							
Pn	110		kW						
Tipo motor:	1LG4310-4AA60								
Fabricante:	Siemens								
P s (2/4)	55	μ (2/4)	92,7	t (2/4)	6	h	T2 182	dias/año	
P s (3/4)	82,5	μ (3/4)	93,3	t (3/4)	6	h			
P s (4/4)	110	μ (4/4)	93,3	t (4/4)	12	h			
<b>Consumo energético (2/4) =</b> 64789,64 kWh/año									
<b>Consumo energético (3/4) =</b> 96559,49 kWh/año									
<b>Consumo energético (4/4) =</b> 257491,96 kWh/año									
<b>Consumo energético Total =</b> 418841,09 kWh/año									
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> :</b> 121463,92 KgCO2/año									
<b>Coste kW/h industrial:</b> 0,099 €									
<b>Vida util estimada:</b> 20 años									
<b>Costes totales CDV:</b> 836.081,44 €									
<b>Costes energéticos CDV:</b> 829.305,36 €									
<b>Precio Venta del motor</b> 19.800,00 € <b>Descuento:</b> 70%									
<b>Costes de adquisición:</b> 5.940,00 €									
<b>Costes instalación y mantenimiento (0,1%)</b> 836,08 €									





Caso 3: Horas de trabajo al año		6576					
Pn		<b>110</b>	kW				
Tipo motor:		1LG4310-4AA60					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		<b>55</b>	μ (2/4)	<b>92,7</b>	t (2/4)	<b>6</b>	<b>T3 274</b> días/año
P s (3/4)		<b>82,5</b>	μ (3/4)	<b>93,3</b>	t (3/4)	<b>6</b>	
P s (4/4)		<b>110</b>	μ (4/4)	<b>93,3</b>	t (4/4)	<b>12</b>	
Consumo energético (2/4) = 97540,45 kWh/año							
Consumo energético (3/4) = 145369,77 kWh/año							
Consumo energético (4/4) = 387652,73 kWh/año							
Consumo energético Total = <b>630562,96</b> kWh/año							
Emisiones CO <sub>2</sub> : <b>182863,26</b> KgCO <sub>2</sub> /año							
Coste kW/h industrial: <b>0,099 €</b>							
Vida útil estimada: <b>20</b> años							
Costes totales CDV: 1.255.710,37 €							
Costes energéticos CDV: 1.248.514,66 €							
Precio Venta del motor 19.800,00 € Descuento: 70%							
Costes de adquisición: <b>5.940,00 €</b>							
Costes instalación y mantenimiento (0,1%) 1.255,71 €							

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760					
Pn		<b>110</b>	kW				
Tipo motor:		1LG4310-4AA60					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		<b>55</b>	μ (2/4)	<b>92,7</b>	t (2/4)	<b>6</b>	<b>T4 365</b> días/año
P s (3/4)		<b>82,5</b>	μ (3/4)	<b>93,3</b>	t (3/4)	<b>6</b>	
P s (4/4)		<b>110</b>	μ (4/4)	<b>93,3</b>	t (4/4)	<b>12</b>	
Consumo energético (2/4) = 129935,28 kWh/año							
Consumo energético (3/4) = 193649,52 kWh/año							
Consumo energético (4/4) = 516398,71 kWh/año							
Consumo energético Total = <b>839983,51</b> kWh/año							
Emisiones CO <sub>2</sub> : <b>243595,22</b> KgCO <sub>2</sub> /año							
Coste kW/h industrial: <b>0,099 €</b>							
Vida útil estimada: <b>20</b> años							
Costes totales CDV: 1.670.778,12 €							
Costes energéticos CDV: 1.663.167,34 €							
Precio Venta del motor 19.800,00 € Descuento: 70%							
Costes de adquisición: <b>5.940,00 €</b>							
Costes instalación y mantenimiento (0,1%) 1.670,78 €							



### MOTOR IE2 vs. IE1 110 kW:

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184					
Pn		110	kW				
Tipo:		1LE1501-3AB03-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		55	μ (2/4)	94	t (2/4)	6	T1 91 días/año
P s (3/4)		82,5	μ (3/4)	94,6	t (3/4)	6	
P s (4/4)		110	μ (4/4)	94,5	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =	31946,81	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =	47616,28	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =	127111,11	kWh/año					
Consumo energético Total =	206674,20	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :	59935,52	KgCO2/año					
Ahorro energético total	2746,35	kWh/año					
Coste kWh industrial:	0,099 €						
Ahorro coste energético	271,89 €						
t <sub>A</sub>	0,33	años					
Vida util estimada	20	años					
Ahorro costes energéticos CDV	5.437,77 €						
Costes totales CDV:	415.660,57 €						
Costes energéticos CDV:	409.214,91 €						
Precio Venta del motor	20.100,00 €	Descuento: 70%					
Costes de adquisición:	6.030,00 €						
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)	415,66 €						

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368						
Pn		110	kW					
Tipo:		1LE1501-3AB03-4AA4						
Fabricante:		Siemens						
P s (2/4)		55						
P s (3/4)		82,5	μ (2/4)	94	t (2/4)	6	h	T2 182 días/año
P s (4/4)		110	μ (3/4)	94,6	t (3/4)	6	h	
			μ (4/4)	94,5	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		63893,62	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		95232,56	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		254222,22	kWh/año					
Consumo energético Total =		413348,40	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		119871,04	KgCO2/año					
Ahorro energético total		5492,69	kWh/año					
Coste kWh industrial:		0,099 €						
Ahorro coste energético		543,78 €						
t <sub>A</sub>		0,17	años					
Vida util estimada		20	años					
Ahorro costes energéticos CDV		10.875,53 €						
Costes totales CDV:		825.285,11 €						
Costes energéticos CDV:		818.429,83 €						
Precio Venta del motor		20.100,00 €	Descuento: 70%					
Costes de adquisición:		6.030,00 €						
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		825,29 €						



Caso 3: Horas de trabajo al año		6576					
Pn		110	kW				
Tipo:		1LE1501-3AB03-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		55	μ (2/4)	94	t (2/4)	6	T3 274 días/año
P s (3/4)		82,5	μ (3/4)	94,6	t (3/4)	6	
P s (4/4)		110	μ (4/4)	94,5	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		96191,49	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		143372,09	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		382730,16	kWh/año				
Consumo energético Total =		622293,74	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		180465,18	KgCO <sub>2</sub> /año				
Ahorro energético total		8269,22	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		818,65 €					
t <sub>A</sub>		0,11	años				
Vida util estimada		20	años				
Ahorro costes energéticos CDV		16.373,06 €					
Costes totales CDV:		1.239.411,02 €					
Costes energéticos CDV:		1.232.141,61 €					
Precio Venta del motor		20.100,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		6.030,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		1.239,41 €					

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760					
Pn	110	kW					
Tipo:	1LE1501-3AB03-4AA4						
Fabricante:	Siemens						
P s (2/4)	55	μ (2/4)	94	t (2/4)	6	h	T4 365 días/año
P s (3/4)	82,5	μ (3/4)	94,6	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)	110	μ (4/4)	94,5	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		128138,30	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		190988,37	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		509841,27	kWh/año				
Consumo energético Total =		828967,94	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		240400,70	KgCO2/año				
Ahorro energético total		11015,57	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		1.090,54 €					
t <sub>A</sub>		0,08	años				
Vida util estimada		20	años				
Ahorro costes energéticos CDV		21.810,82 €					
Costes totales CDV:		1.649.035,56 €					
Costes energéticos CDV:		1.641.356,52 €					
Precio Venta del motor		20.100,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		6.030,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		1.649,04 €					



### MOTOR IE3 vs. IE1 110 kW:

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184					
Pn		110	kW				
Tipo:		1LE1503-3AB03-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		55	μ (2/4)	95,5	t (2/4)	6	T1 91 días/año
P s (3/4)		82,5	μ (3/4)	95,8	t (3/4)	6	
P s (4/4)		110	μ (4/4)	95,4	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		31445,03	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		47019,83	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		125911,95	kWh/año				
Consumo energético Total =		204376,81	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		59269,27	KgCO2/año				
Ahorro energético total		5043,74	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		499,33 €					
t <sub>A</sub>		1,38	años				
Vida util estimada		20	años				
Ahorro costes energéticos CDV		9.986,60 €					
Costes totales CDV:		411.707,79 €					
Costes energéticos CDV:		404.666,08 €					
Precio Venta del motor		22.100,00 €	Descuento: 70%				
Costes de adquisición:		6.630,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		411,71 €					

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368					
Pn		110	kW				
Tipo:		1LE1503-3AB03-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		55	μ (2/4)	95,5	t (2/4)	6	T2 182 días/año
P s (3/4)		82,5	μ (3/4)	95,8	t (3/4)	6	
P s (4/4)		110	μ (4/4)	95,4	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		62890,05	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		94039,67	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		251823,90	kWh/año				
Consumo energético Total =		408753,62	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		118538,55	KgCO <sub>2</sub> /año				
Ahorro energético total		10087,47	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		998,66 €					
t <sub>A</sub>		0,69	años				
Vida util estimada		20	años				
Ahorro costes energéticos CDV		19.973,20 €					
Costes totales CDV:		816.778,94 €					
Costes energéticos CDV:		809.332,16 €					
Precio Venta del motor		22.100,00 €	Descuento:			70%	
Costes de adquisición:		6.630,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		816,78 €					



Caso 3: Horas de trabajo al año		6576					
Pn	110	kW					
Tipo:	1LE1503-3AB03-4AA4						
Fabricante:	Siemens						
P s (2/4)	55	μ (2/4)	95,5	t (2/4)	6	T3 274 días/año	
P s (3/4)	82,5	μ (3/4)	95,8	t (3/4)	6		
P s (4/4)	110	μ (4/4)	95,4	t (4/4)	12		
Consumo energético (2/4) = 94680,63 kWh/año							
Consumo energético (3/4) = 141576,20 kWh/año							
Consumo energético (4/4) = 379119,50 kWh/año							
Consumo energético Total = 615376,33 kWh/año							
Emisiones CO <sub>2</sub> : 178459,13 KgCO2/año							
Ahorro energético total 15186,64 kWh/año							
Coste kWh industrial: 0,099 €							
Ahorro coste energético 1.503,48 €							
t <sub>A</sub> 0,46 años							
Vida util estimada 20 años							
Ahorro costes energéticos CDV 30.069,54 €							
Costes totales CDV: 1.226.301,43 €							
Costes energéticos CDV: 1.218.445,12 €							
Precio Venta del motor 22.100,00 € Descuento: 70%							
Costes de adquisición: 6.630,00 €							
Costes instalación y mantenimiento (0,1%) 1.226,30 €							

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760					
Pn		110	kW				
Tipo:		1LE1503-3AB03-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		55	μ (2/4)	95,5	t (2/4)	6	T4 365 días/año
P s (3/4)		82,5	μ (3/4)	95,8	t (3/4)	6	
P s (4/4)		110	μ (4/4)	95,4	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		126125,65	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		188596,03	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		505031,45	kWh/año				
Consumo energético Total =		819753,13	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		237728,41	KgCO2/año				
Ahorro energético total		20230,37	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		2.002,81 €					
t <sub>A</sub>		0,34	años				
Vida util estimada		20	años				
Ahorro costes energéticos CDV		40.056,14 €					
Costes totales CDV:		1.631.372,58 €					
Costes energéticos CDV:		1.623.111,21 €					
Precio Venta del motor		22.100,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		6.630,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		1.631,37 €					



### MOTOR IE4 vs. IE1 110 kW:

Caso 1: Horas de trabajo al año		2184					
P <sub>n</sub>		<b>110</b>	kW				
Tipo:		1LE1504-3AB03-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P <sub>s</sub> (2/4)		<b>55</b>	μ (2/4)	<b>96,4</b>	t (2/4)	<b>6</b>	<b>T1 91</b> días/año
P <sub>s</sub> (3/4)		<b>82,5</b>	μ (3/4)	<b>96,6</b>	t (3/4)	<b>6</b>	
P <sub>s</sub> (4/4)		<b>110</b>	μ (4/4)	<b>96,3</b>	t (4/4)	<b>12</b>	
Consumo energético (2/4) = 31151,45 kWh/año							
Consumo energético (3/4) = 46630,43 kWh/año							
Consumo energético (4/4) = 124735,20 kWh/año							
Consumo energético Total = <b>202517,09</b> kWh/año							
Emisiones CO <sub>2</sub> : <b>58729,96</b> KgCO <sub>2</sub> /año							
Ahorro energético total 6903,46 kWh/año							
Coste kWh industrial: <b>0,099 €</b>							
Ahorro coste energético <b>683,44 €</b>							
t <sub>A</sub> <b>1,98</b> años							
Vida útil estimada <b>20</b> años							
Ahorro costes energéticos CDV <b>13.668,84 €</b>							
Costes totales CDV: 408.682,52 €							
Costes energéticos CDV: 400.983,84 €							
Precio Venta del motor 24.300,00 € Descuento: 70%							
Costes de adquisición: <b>7.290,00 €</b>							
Costes instalación y mantenimiento (0,1%) 408,68 €							

Caso 2: Horas de trabajo al año		4368					
P <sub>n</sub>		<b>110</b>	kW				
Tipo:		1LE1504-3AB03-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P <sub>s</sub> (2/4)		<b>55</b>	μ (2/4)	<b>96,4</b>	t (2/4)	<b>6</b>	<b>T2 182</b> días/año
P <sub>s</sub> (3/4)		<b>82,5</b>	μ (3/4)	<b>96,6</b>	t (3/4)	<b>6</b>	
P <sub>s</sub> (4/4)		<b>110</b>	μ (4/4)	<b>96,3</b>	t (4/4)	<b>12</b>	
Consumo energético (2/4) = 62302,90 kWh/año							
Consumo energético (3/4) = 93260,87 kWh/año							
Consumo energético (4/4) = 249470,40 kWh/año							
Consumo energético Total = <b>405034,18</b> kWh/año							
Emisiones CO <sub>2</sub> : <b>117459,91</b> KgCO <sub>2</sub> /año							
Ahorro energético total 13806,91 kWh/año							
Coste kWh industrial: <b>0,099 €</b>							
Ahorro coste energético <b>1.366,88 €</b>							
t <sub>A</sub> <b>0,99</b> años							
Vida útil estimada <b>20</b> años							
Ahorro costes energéticos CDV <b>27.337,69 €</b>							
Costes totales CDV: 810.067,74 €							
Costes energéticos CDV: 801.967,67 €							
Precio Venta del motor 24.300,00 € Descuento: 70%							
Costes de adquisición: <b>7.290,00 €</b>							
Costes instalación y mantenimiento (0,1%) 810,07 €							



Caso 3: Horas de trabajo al año		6576						
Pn		110	kW					
Tipo:		1LE1504-3AB03-4AA4						
Fabricante:		Siemens						
P s (2/4)		55	μ (2/4)	96,4	t (2/4)	6	h	T3 274 dias/año
P s (3/4)		82,5	μ (3/4)	96,6	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)		110	μ (4/4)	96,3	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		93796,68	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		140403,73	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		375576,32	kWh/año					
Consumo energético Total =		609776,73	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		176835,25	KgCO2/año					
Ahorro energético total		20786,23	kWh/año					
Coste kWh industrial:		0,099 €						
Ahorro coste energético		2.057,84 €						
t <sub>A</sub>		0,66	años					
Vida util estimada		20	años					
Ahorro costes energéticos CDV		41.156,74 €						
Costes totales CDV:		1.215.863,79 €						
Costes energéticos CDV:		1.207.357,93 €						
Precio Venta del motor		24.300,00 €	Descuento:		70%			
Costes de adquisición:		7.290,00 €						
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		1.215,86 €						

Caso 4: Horas de trabajo al año		8760					
Pn		110	kW				
Tipo:		1LE1504-3AB03-4AA4					
Fabricante:		Siemens					
P s (2/4)		55	μ (2/4)	96,4	t (2/4)	6	T4 365 días/año
P s (3/4)		82,5	μ (3/4)	96,6	t (3/4)	6	
P s (4/4)		110	μ (4/4)	96,3	t (4/4)	12	
Consumo energético (2/4) =		124948,13	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		187034,16	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		500311,53	kWh/año				
Consumo energético Total =		812293,82	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		235565,21	KgCO2/año				
Ahorro energético total		27689,69	kWh/año				
Coste kWh industrial:		0,099 €					
Ahorro coste energético		2.741,28 €					
t <sub>A</sub>		0,49	años				
Vida util estimada		20	años				
Ahorro costes energéticos CDV		54.825,58 €					
Costes totales CDV:		1.617.249,01 €					
Costes energéticos CDV:		1.608.341,77 €					
Precio Venta del motor		24.300,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		7.290,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		1.617,25 €					



## 4. Eficiencia energética a través de variadores de frecuencia

### 4.1 Descripción y funcionamiento

Los convertidores/variadores de velocidad/frecuencia de corriente alterna tienen como principal función variar la velocidad de giro de los motores de inducción trifásicos en aplicaciones donde se necesite una velocidad distinta durante el funcionamiento.

En los motores de inducción de CA resulta complicado controlar la velocidad y el par. La velocidad de un motor es aproximadamente proporcional a la frecuencia de la alimentación. Teniendo en cuenta que el valor de K depende del diseño mecánico del motor, se puede aplicar la siguiente ecuación de manera simplificada:

$$n \approx K * f$$

Lo que significa que se debe cambiar la frecuencia de alimentación del motor si se quiere cambiar la velocidad de giro del mismo. Debe tenerse en cuenta que el flujo magnético en el motor es proporcional a la relación entre la tensión y la frecuencia de alimentación:

$$\phi \approx \frac{V}{f}$$

Con el fin de evitar la saturación o una mínima magnetización del circuito magnético, el flujo en el motor debe mantenerse constante. Es decir, es necesario variar simultáneamente la tensión y la frecuencia de alimentación del motor.

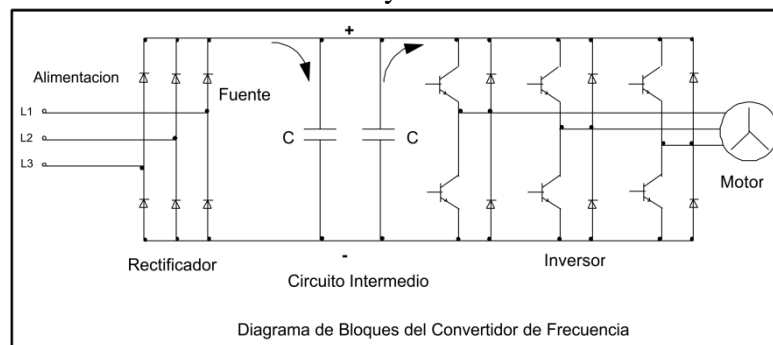
El par del motor de inducción es proporcional al flujo magnético:

$$M \approx K * \phi$$

El par del motor depende directamente del flujo magnético del motor que se genera con la tensión y la frecuencia de alimentación al motor.

**El convertidor de frecuencia transforma la señal senoidal de tensión de alimentación de amplitud y frecuencia fija en una onda de salida trifásica de tensión y frecuencia variable.**

Los controladores electrónicos de velocidad para motores de CA, por lo general, convierten primero el suministro de CA en CC mediante el uso de un rectificador y, posteriormente, lo convierten una vez más utilizando un puente inversor, en una fuente de frecuencia y tensión de CA variables. La conexión entre el rectificador y el inversor se denomina circuito intermedio.



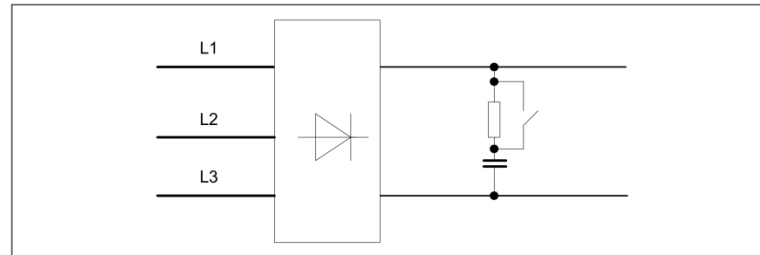
Circuito básico de un convertidor de frecuencia de CA con motor

El circuito de entrada de un convertidor de frecuencia de CA consta de un rectificador, que convierte la tensión alterna de alimentación en la tensión continua del circuito intermedio.

La función de los condensadores del circuito intermedio es:

- Suavizar la tensión continua rectificada o reducir el rizado del voltaje
- Regular el factor de potencia del conjunto convertidor-motor
- Almacenar energía que se libera en la conmutación (IGBT's)

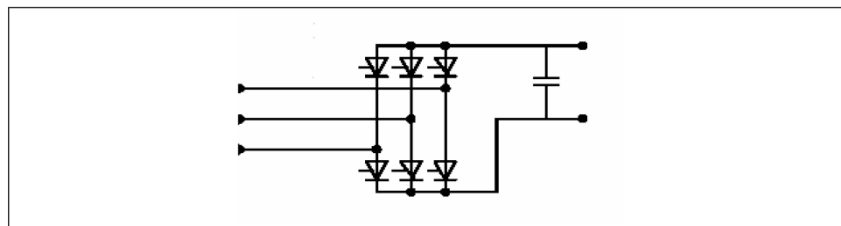
Para pequeñas potencias, el rectificador de entrada se compone de un puente de rectificación de diodos no controlados y un circuito de precarga.



**Circuito de entrada del convertidor**

El circuito de precarga está formado por una resistencia limitadora conectada en serie que limita la corriente de precarga de los condensadores y se puentea después de que el proceso de carga se ha completado.

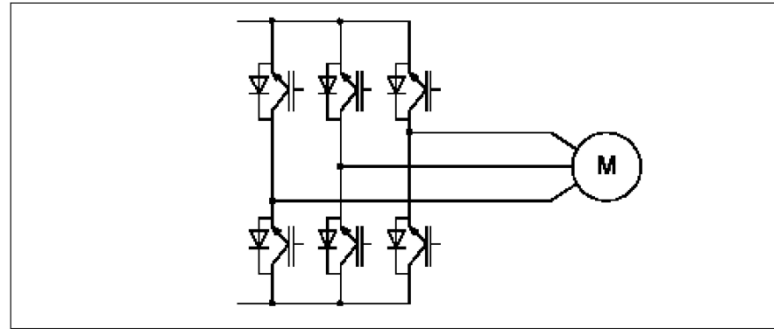
En los convertidores de alta potencia se usan normalmente puentes de rectificación de tiristores. La precarga de los condensadores se controla incrementando gradualmente el ángulo de disparo de los tiristores. Cuando la precarga ha finalizado los tiristores permanecen activos.



**Puente rectificador de tiristores**

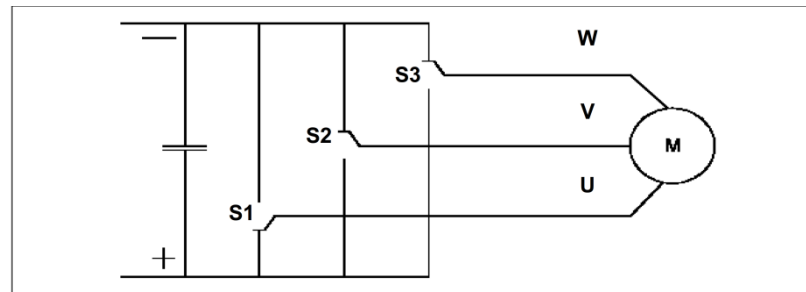
El circuito de salida, formado por un puente de transistores trifásicos, tiene como función convertir la tensión continua del circuito intermedio en un sistema trifásico de amplitud y frecuencia variable.

En el pasado, se usaban distintos tipos de componentes electrónicos de potencia, por ejemplo transistores bipolares, MOSFET, GTO, etc. Hoy en día, se han sustituido por el IGBT (Transistor Bipolar de Puerta Aislada). El IGBT tiene todas las ventajas del transistor bipolar: elevada corriente de salida y una alta frecuencia de conmutación. Además, trabaja con tensión controlada por lo que sólo necesita una potencia pequeña de disparo, lo que conlleva tiempos de ciclo pequeños y alta eficiencia.



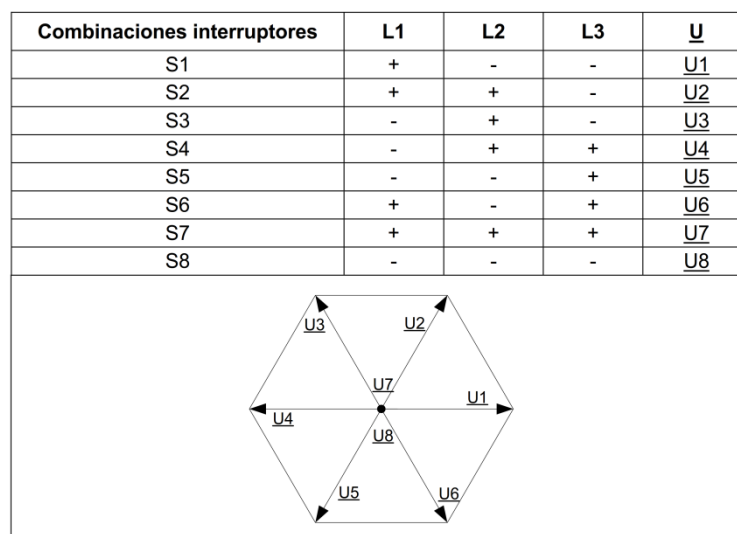
**Circuito de salida del convertidor**

Los transistores de salida funcionan como un interruptor, es decir alternan entre conducción y bloqueo. De esta forma conectan alternativamente las tres fases del motor al circuito intermedio generando de esta forma un vector tensión de amplitud constante que rota en el espacio.



**Generación de un sistema trifásico de tensión con los transistores S1, S2 y S3.**

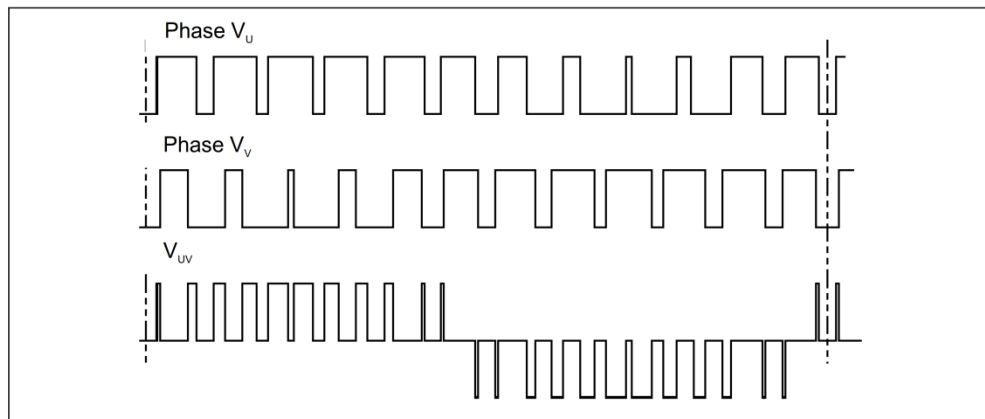
El devanado U se conecta a la placa positiva del circuito intermedio (Fig. 1-5). Por otro lado, los devanados V y W se conectan a la placa negativa. Como resultado se obtiene un vector  $\underline{U}_1$ , cuya amplitud es igual a la tensión del circuito intermedio. Cuando se conecte el devanado V a la placa positiva del circuito intermedio, el vector de tensión resultante  $\underline{U}_2$  gira  $60^\circ$  sobre  $\underline{U}_1$ . La amplitud no cambia. Las distintas combinaciones de los interruptores dan lugar a distintos vectores:  $\underline{U}_1$ -  $\underline{U}_8$ .



**Diagrama de vectores espaciales:  $\underline{U}_1$ ... $\underline{U}_8$**

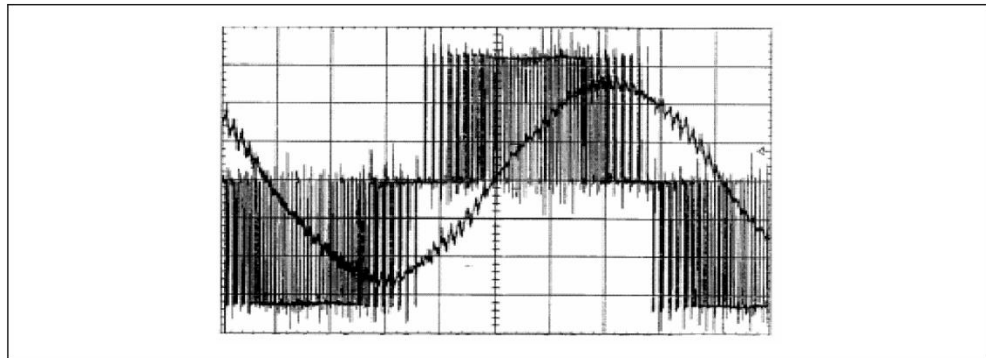
En los estados 7 y 8 los tres interruptores se encuentran conectados a la misma placa del circuito intermedio, positiva y negativa respectivamente, con lo que el vector resultante tiene amplitud cero.

Como ya se ha comentado anteriormente, el motor debe alimentarse con una onda de tensión y frecuencia variable. Por lo que no resulta suficiente realizar la secuencia S1-S2...-S6 con la frecuencia necesaria. Se ha demostrado prácticamente que la forma hexagonal del vector tensión no proporciona resultados satisfactorios. Para conseguir un vector tensión rotatorio de amplitud variable es necesario utilizar técnicas de modulación apropiadas. Dichas técnicas incluyen, por ejemplo, la modulación de ancho de pulso (PWM) o la modulación de vectores espaciales.



#### **Ejemplo tensión de salida con modulación de ancho de pulso (PWM)**

La tensión de cada conductor individual, cuando se usa la técnica de PWM, se convierte en un tren de pulsos. La frecuencia portadora es igual a la frecuencia de control del transistor. Como se puede ver en la imagen los continuos pulsos originan las distintas áreas de tensión en el tiempo. Como resultado de esta modulación del ancho de pulso, se obtiene una onda de corriente prácticamente senoidal originada por la tensión pulsante y la inductancia del motor.



#### **Ejemplo de ondas de tensión y corriente de salida del convertidor**

Es muy importante que la corriente de salida sea lo más senoidal posible ya que todas las magnitudes magnéticas y por consiguiente el par transferido a través del entrehierro depende de la corriente. Si la corriente no tiene forma senoidal aumentan las pérdidas en el motor y pueden producirse variaciones de par en el eje del motor.

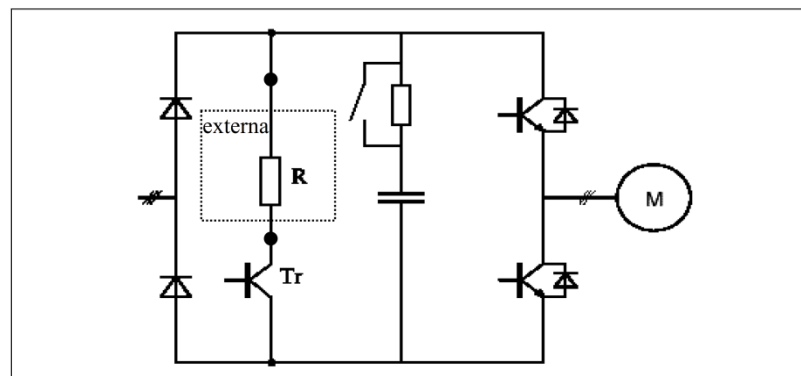
El convertidor de frecuencia debe ser capaz de frenar el motor con una parada controlada. Para ello, el puente de transistores de la etapa de salida tiene una función bidireccional. Es decir, permite que la corriente circule en los dos sentidos. Si el motor trabaja como generador, por ej. cuando frena, la energía generada retorna al circuito intermedio a través del puente de transistores. Sin embargo, el puente de diodos no controlado de la etapa de entrada no permite que la corriente retorne a la red de alimentación. La energía procedente del motor permanece en el circuito intermedio sobrecargando los condensadores y aumentando la tensión del circuito intermedio. En ese momento al exceder el umbral de tensión ajustado, se bloquean los transistores de salida para proteger al convertidor.

Este bloqueo conlleva la interrupción de la devolución de energía del motor hacia el circuito intermedio. El motor deja de pararse controladamente y para por inercia.

Con el fin de evitar que dicho aumento de tensión provoque un fallo en el convertidor, normalmente los convertidores de frecuencia poseen las siguientes funciones:

- Controlador de la tensión del circuito intermedio
- Corriente de frenado de circuito intermedio
- Frenado dinámico (resistencia de frenado externa + chopper de frenado)
- Frenado compuesto (frenado rampa + inyección de corriente continua)

De todas estas posibilidades, la que garantiza un frenado más exigente es la opción con resistencia de frenado externa.



**Diagrama simplificado del convertidor con resistencia de frenado**

Para este sistema de frenado habitual en medianas y grandes potencias, se conecta una resistencia de frenado (R) en paralelo con el circuito intermedio. Dicha resistencia se alimenta a través del transistor (Tr) o chopper de frenado. Una vez que la tensión umbral del circuito intermedio se ha sobrepasado, se activa la resistencia de frenado a través del transistor. La energía devuelta por el motor hacia el convertidor en el frenado se disipa en forma de calor en la resistencia. La resistencia debe dimensionarse para absorber la potencia necesaria durante todo el proceso de frenado.

Otro método de frenado del motor es el frenado por corriente continua. En este tipo de frenado se alimenta al motor con corriente continua por dos fases con lo que se genera un campo magnético constante. El rotor se frena de cómo resultado del campo magnético generado por la inyección de corriente continua. Este método tiene como principal ventaja la ausencia de un elemento externo.

Sin embargo posee varias desventajas:

- El frenado es impreciso y brusco, ya que el par varía con la velocidad y a velocidades próximas a cero es muy pequeño.
- Para conseguir un alto par de frenado, próximo al par nominal, es necesario utilizar una corriente muy alta.
- El par de frenado depende de la característica Par-Velocidad del motor.
- Toda la energía de frenado se disipa en el estator del motor, produciendo un aumento de la temperatura significativo del mismo.

Un convertidor de frecuencia en funcionamiento produce distorsiones en la red de la que se alimenta. Dichas distorsiones se originan por:

- La no linealidad de los dispositivos de potencia (puente rectificador de semiconductores)
- La frecuencia de control o conmutación (2-16kHz) de los transistores de salida

La magnitud de estos efectos depende de varios factores, por ejemplo, de las características de la red de alimentación, del tipo y de la potencia del convertidor.

Con el fin de proteger el convertidor, la red de alimentación y lograr la reducción de los armónicos existen diferentes opciones y accesorios eléctricos que se pueden dividir en accesorios a la entrada (aguas arriba del variador de frecuencia) o a la salida (entre la salida del variador de frecuencia y el motor).

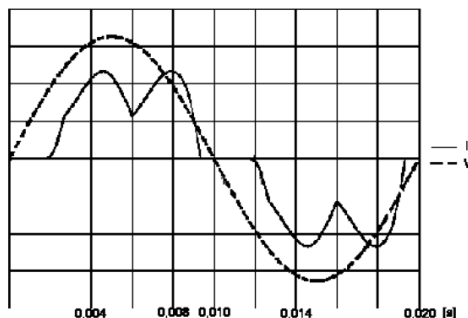
El convertidor de frecuencia debe conectarse a la alimentación usando los correspondientes fusibles o interruptores automáticos con el fin de proteger el circuito de entrada. Los dispositivos de protección interna se encargan de proteger el circuito de salida.

#### **Accesorios a la entrada:**

Los filtros EMC reducen las distorsiones y el ruido de alta frecuencia generado por la frecuencia de pulsación de los transistores de salida. La bobina o filtro de red (conmutación/entrada) se utiliza para reducir los armónicos devueltos a la red desde el convertidor, como son los armónicos de baja frecuencia (hasta 1 kHz) y los huecos en la red.

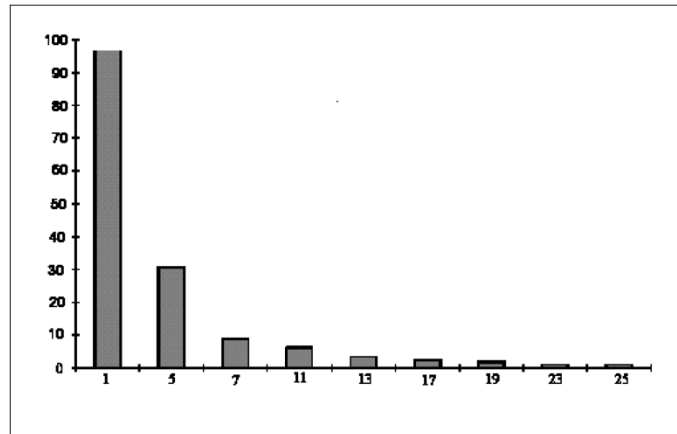
#### ***Armónicos de baja frecuencia***

Los diodos sólo conducen si la tensión de línea supera la tensión de los condensadores del circuito intermedio. Es decir, los condensadores se recargan brevemente con pulsaciones de corriente de valor elevado., por ejemplo tras la precarga del circuito intermedio la “recarga” sólo tiene lugar cuando la tensión de red vuelve a ser superior a la tensión del circuito intermedio. El valor de la corriente se limita por las impedancias de la línea de alimentación y del circuito intermedio. La forma de onda de la corriente deja de ser senoidal tal y como puede observarse en el siguiente diagrama:



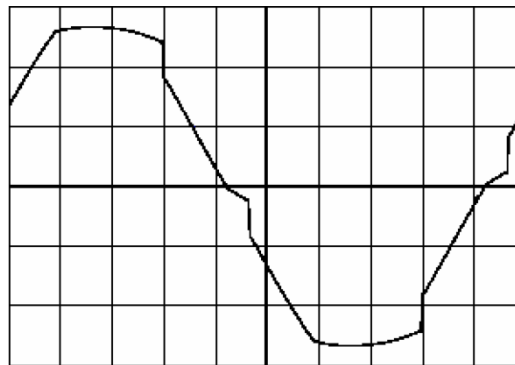
**Forma de onda de corriente y tensión de una fase de entrada**

Realizando un análisis de Fourier de la corriente se demuestra que además de la corriente fundamental (50Hz) existen también otras corrientes armónicas.



**Espectro de armónicos de la corriente**

Los problemas que puedan ocurrir en la línea de alimentación no son únicamente causados por los armónicos de corriente por sí solos, sino también por las caídas de tensión en la alimentación causadas por las distintas frecuencias armónicas que producen la distorsión de la onda de tensión.

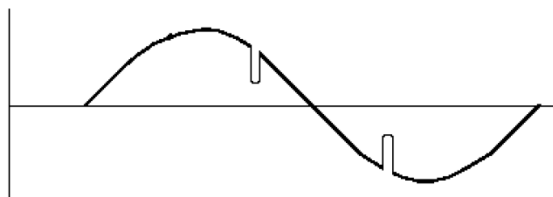


**Onda de tensión distorsionada**

El modo más efectivo de limitar los armónicos producidos por el convertidor de frecuencia es la utilización de una bobina de red/línea/conmutación para aumentar la impedancia de línea. Esta bobina suaviza la corriente, alarga su duración en el tiempo y reduce su amplitud logrando la reducción de las corrientes armónicas.

### ***Huecos en la alimentación***

La distorsión de la tensión de red se manifiesta en forma de huecos periódicos en la alimentación causados por las conmutaciones del rectificador (huecos por conmutación). La conmutación es la transición de la corriente de un “brazo” del puente rectificador al siguiente “brazo” que conduce corriente. Estos breves cortocircuitos ocasionan huecos de tensión en la alimentación cuyo valor viene determinado por la relación existente entre la inductancia de la línea y la inductancia en serie con el convertidor de frecuencia (por ej. la bobina de red).



**Forma de onda de tensión de alimentación con huecos por conmutación**



Para puentes de diodos no controlados, esta conmutación se realiza siempre cerca del momento del disparo de los diodos. Es decir, apenas existe el llamado “solapado en la conmutación”.

Las caídas de tensión que se pueden observar son pequeñas.

Si hablamos de un puente rectificador controlado formado por tiristores, suele ocurrir que los huecos en la alimentación se hacen más grandes. En estos casos, se utilizan las bobinas de conmutación para reducir los huecos en la alimentación y para limitar la corriente de entrada al convertidor.

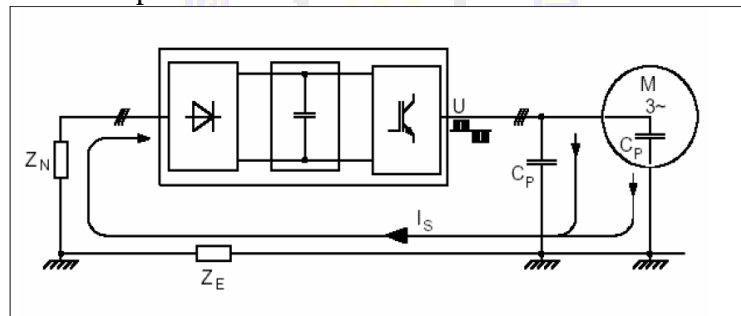
### ***Perturbaciones y ruido electromagnético***

Los fallos y perturbaciones electromagnéticas, por ejemplo, fuertes campos electromagnéticos y los efectos de una descarga electrostática se engloban bajo el término de compatibilidad electromagnética (CEM). Un convertidor de frecuencia de CA debe ser inmune a los efectos CEM externos y, en funcionamiento deben generar las mínimas perturbaciones electromagnéticas para los demás dispositivos y equipos. Los fallos y perturbaciones emitidas por un convertidor de frecuencia son causadas principalmente por la alta frecuencia de ciclo de conmutación a la salida del convertidor de frecuencia.

Dependiendo de cómo se propaguen, los fallos pueden ser de dos tipos:

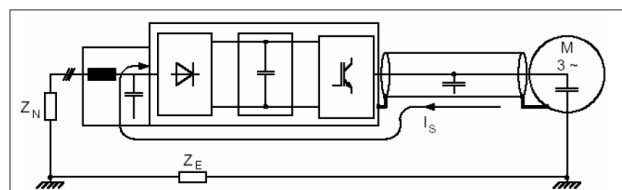
- Ruidos/perturbaciones en cables-bornes que se propagan a través de los cables y pantallas
- Ruidos/perturbaciones sin cables-bornes como son los ruidos de alta frecuencia que se propagan o radian en forma de ondas electromagnéticas.

Los ruidos/perturbaciones se propagan por sí solas, por ejemplo en forma de corrientes parásitas de manera incontrolada por toda la instalación a través de los cables y de masa/tierra. El objetivo es conseguir que el ruido y las perturbaciones se propaguen por caminos específicos con el fin de reducir la interacción con otras partes de la instalación y que las corrientes parásitas puedan descargarse de una manera específica.



**Corrientes parásitas con cables de motor no apantallados**

Las capacidades parásitas  $C_P$  se cargan y descargan como consecuencia de la tensión de salida pulsante a la salida del convertidor de frecuencia. Las corrientes parásitas vuelven a la fuente que las generó, es decir, el convertidor de frecuencia. Si no se utilizan cables apantallados, las corrientes parásitas fluyen hacia atrás de una manera indefinida a través de la impedancia de la tierra  $Z_E$  y la del cable de alimentación  $Z_N$  – es decir, a través de la tierra, bandejas de cable, canaletas, etc. Las corrientes y tensiones parásitas que dichas corrientes originan pueden influir negativamente en otros dispositivos y equipos llegando a dañarlos.



**Cables de motor apantallados y Filtro CEM a la entrada**

Se necesitan cables apantallados para permitir que las corrientes parasitarias vuelvan por un camino definido al convertidor de frecuencia. La pantalla debe conectarse con la mayor superficie de contacto posible a la carcasa del convertidor y a la del motor. En ciertos casos resulta práctico realizar una conexión equipotencial entre el motor y el convertidor de frecuencia utilizando un cable de tierra plano adicional de gran sección transversal. A través de este cable se pueden descargar una parte de las corrientes parasitas.

Gracias al acoplamiento que se origina, a través de condensadores de descarga, las corrientes parasitas de alta frecuencia fluyen de vuelta al circuito intermedio a través de la menor impedancia posible.

Es posible realizar un mayor filtrado si se utiliza un **filtro CEM** en la alimentación del convertidor de frecuencia.

La conexión entre el convertidor de frecuencia y el filtro CEM debe ser lo más corta posible. Es muy importante realizar una buena conexión entre la carcasa del filtro y la del convertidor. Tanto el filtro CEM como el convertidor de frecuencia deben conectarse a tierra con la mayor sección posible. Para conseguirlo es necesario montarlos sobre una placa/panel metálico o la sobre la misma placa de montaje del armario eléctrico puesta a tierra.

Con el fin de prevenir que el ruido se acople a las señales de control se recomienda que los cables de alimentación al motor se separen de los de control manteniendo una mínima distancia. Si fuera posible, los cables no deben tirarse en paralelo. Si se utilizan cables de señal apantallados se consiguen grandes mejoras.

### Accesorios a la salida:

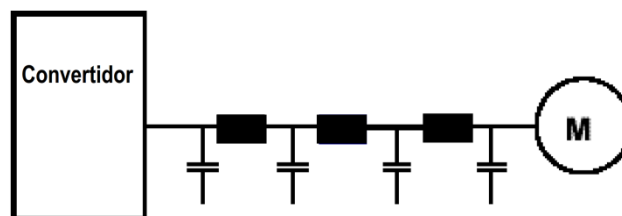
Todo motor conectado a un convertidor de frecuencia de CA se encuentra sometido a un mayor estrés eléctrico y térmico como consecuencia de la onda de tensión pulsante que lo alimenta.

La onda característica de tensión está formada por una secuencia de pulsos cuya amplitud coincide con la tensión del circuito intermedio. El tiempo de subida de los pulsos viene definido por el tiempo de conmutación de los IGBT's ( $0.1\mu s$  aproximadamente).

Un gradiente de tensión elevado es la principal causa de los picos de corriente y tensión que originan una sobrecarga en el convertidor, en los cables de alimentación al motor y en el propio motor.

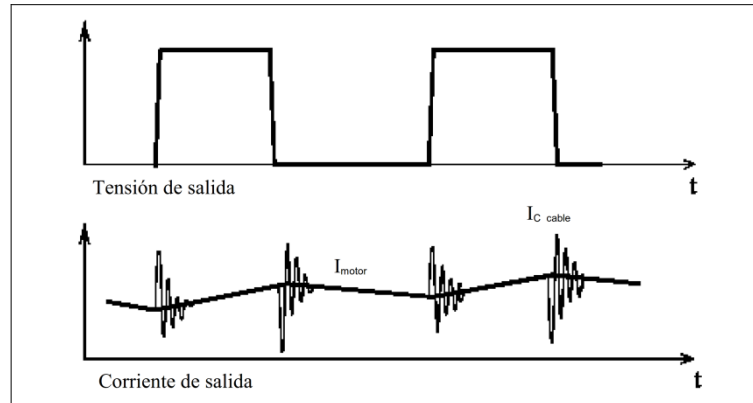
### *Sobrecorrientes a la salida*

Una corriente de salida del convertidor superior a la necesaria puede ser debida al efecto capacitivo de los cables de salida al motor.



**Efecto capacitivo de los cables de salida al motor**

La secuencia de los pulsos (tren de pulsos) conducidos a lo largo del cable origina continuamente la carga y descarga de los “condensadores”. Estas corrientes de carga se superponen a la corriente RMS originando una sobrecarga adicional en el convertidor y en el motor.



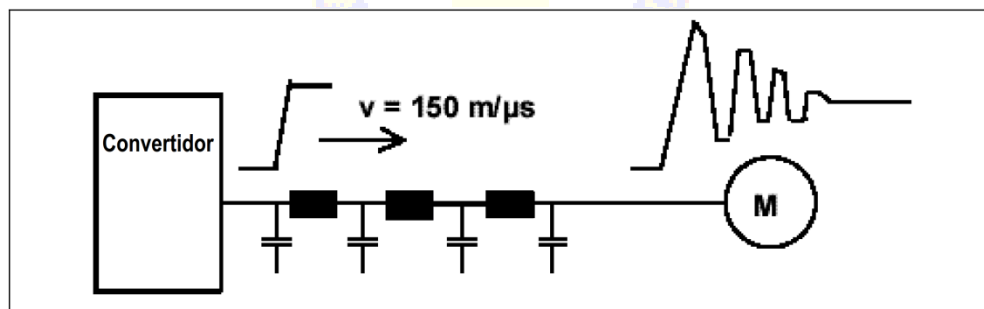
**Corriente y tensión en los cables de salida al motor**

Cuanto mayor sea la capacitancia del cable, mayor sea la longitud del cable y mayor sea la frecuencia de pulsación del convertidor de frecuencia, mayor serán las corrientes de salida al motor. La distancia máxima del cable de salida al motor está limitada a las recomendaciones del fabricante del convertidor. Las corrientes de recarga se pueden suavizar utilizando **bobinas de salida** con el fin de aumentar la distancia del cable del convertidor al motor.

### ***Sobretensiones a la salida***

El aumento de la tensión en el motor es debido a la tensión pulsante y a la onda propagada generada. Esta onda propagada entre la salida del convertidor de frecuencia y el motor se desplaza por el cable con una velocidad de  $150 \text{ m}/\mu\text{s}$ .

Cuando la onda propagada por el cable llega al motor se encuentra con una resistencia característica diferente de valor  $R_{\text{motor}} \approx 10...20 * R_{\text{cable}}$  y se refleja de vuelta hacia el convertidor de frecuencia. Una vez allí se refleja de nuevo hacia el motor y así sucesivamente. Esta operación de ajuste se completa aproximadamente tras  $1 \mu\text{s}$ .



**Ondas de tensión a la salida del convertidor y en el motor**

La tensión del circuito intermedio varía cuando el motor frena o acelera. Esto ocasiona el aumento lógico de los picos de tensión en los bornes del motor. Para que la tensión se refleje completamente se debe cumplir que el tiempo de subida de la tensión debe ser inferior al tiempo de propagación de la onda generada desde el convertidor de frecuencia al motor.

**Las bobinas de salida y los filtros LC (también llamados filtro  $du/dt$ )** pueden instalarse con el fin de reducir dichas reflexiones de la tensión. Las bobinas de salida amortiguan la subida de tensión tras la bobina y reducen las corrientes capacitivas en los cables al motor compensando el efecto capacitivo de estos con su inductancia. Los filtros LC limitan la subida y los picos de tensión. Además, influyen en la forma de onda de la tensión aproximándola a una forma de onda senoidal.

## 4.2 Ahorro energético derivado del uso de variadores de frecuencia

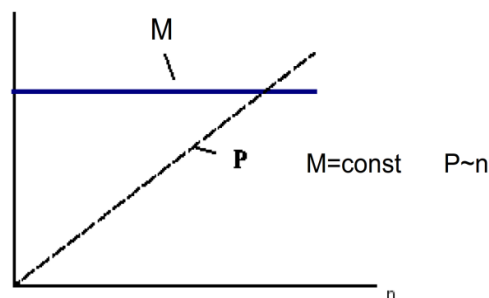
Cuando se utiliza un convertidor de frecuencia se obtienen principalmente las siguientes ventajas:

- Aceleraciones y deceleraciones suaves del motor accionado
- **Ahorro energético**
- Funcionamiento a frecuencias 0 – 50 Hz y > 50Hz
- Funciones adicionales integradas en el convertidor: protección del motor, controlador PID, funciones lógicas, etc.
- Posibilidades de comunicación entre el variador y sistemas de automatización a través de los buses de comunicaciones

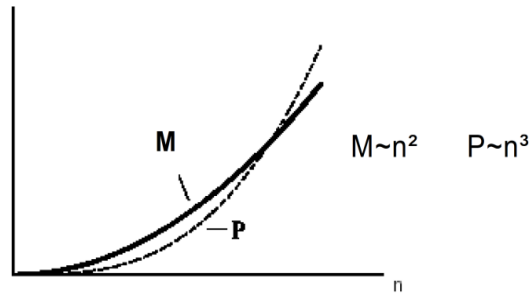
En aplicaciones donde no es necesario la variación de la velocidad del motor por el tipo de aplicación, en las cuales se arranca el motor y funciona a su velocidad nominal durante todo el proceso, la utilización del variador de frecuencia no tiene mucho sentido ya que su principal característica o utilidad no se aprovecharía, aunque a nivel de ahorro energético hay en ciertos casos en los cuales podría interesar la utilización de un variador debido a que en el arranque del motor el consumo o corriente de arranque es muy inferior al de un arranque directo del motor (aprox.  $6I_N$ ) o un arranque mediante arrancador estrella-triángulo/arrancador suave (aprox.  $3I_N$ ) ya que el propio variador de frecuencia limita esta corriente entregada al motor, debido a que utiliza un arranque progresivo con una aceleración o rampa suave que puede ser fijada a un valor de tiempo concreto.

La instalación de variadores de frecuencia en este caso no es habitual pero para grandes potencias y aplicaciones donde no es restrictivo el tiempo de arranque del motor podría compensar el coste adicional de éste frente al ahorro energético derivado del menor consumo en el arranque. Este menor pico de intensidad en el arranque proporcionado con el convertidor de frecuencia, gracias al control del arranque, conlleva una reducción en la infraestructura eléctrica y las pérdidas de la red de alimentación.

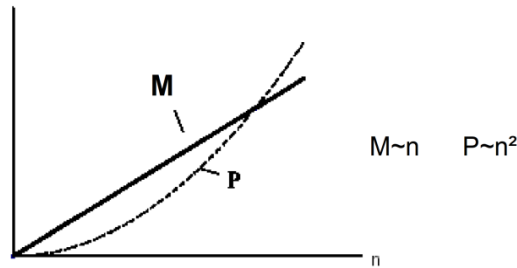
La principal utilización de los convertidores de frecuencia es en aplicaciones donde la velocidad del motor no es constante ya que la aplicación y la máquina accionada por el motor tienen un perfil de funcionamiento diferente a lo largo del tiempo con unos requerimientos de par o potencia variables. Las aplicaciones pueden clasificarse de forma general en base a la curva característica de par de la máquina accionada en las siguientes:



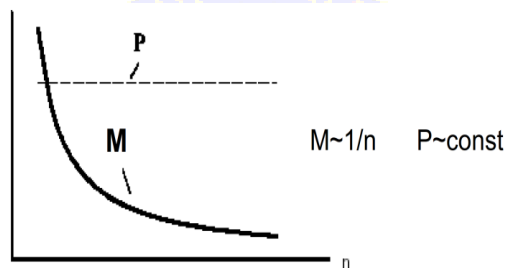
Curva característica de par constante



**Curva característica de par cuadrático**



**Curva característica de par lineal**



**Curva característica de par decreciente**

En estos tipos de aplicaciones donde las características de la aplicación o de la máquina accionada por el motor requieren el funcionamiento de éste a distintas velocidades, es donde la regulación precisa del variador de frecuencia permite ajustarse a un punto óptimo en cada momento sin desaprovechar energía frente a las aplicaciones con velocidad constante donde el motor tiene un consumo y eficiencia que serán los nominales del motor para los que se ha dimensionado, y el método de regulación tradicional que se basa en el funcionamiento de la propia máquina accionada no tiene la capacidad de disminuir el consumo energético en el motor. Es muy importante de igual manera, el diseño correcto del motor y la programación de los variadores para maximizar el rendimiento del sistema y minimizar las pérdidas.

El uso de convertidores de frecuencia también implica pérdidas adicionales que influirán en el rendimiento o eficiencia, como son las pérdidas principales de estos equipos debidas al tipo de transistores y rectificadores de potencia que integran, o las pérdidas adicionales de los componentes auxiliares, pero la utilización de estos convertidores en el tipo de aplicaciones correcto hará que el ahorro energético y la eficiencia del sistema sea mucho mayor.

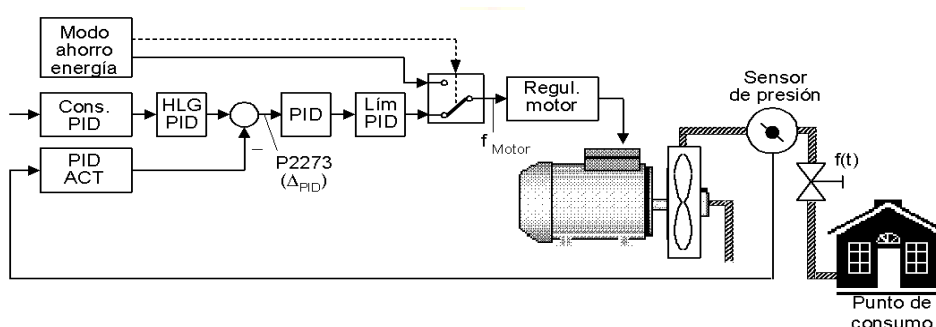
## 4.3 Funciones específicas para el ahorro energético en variadores de frecuencia

Los fabricantes de variadores de frecuencia implementan determinadas funciones que están integradas en el sistema de control de estos equipos y están orientadas al ahorro energético del sistema o aplicación, programadas ya en origen para facilitar a los usuarios el aprovechamiento de éstas.

Algunos ejemplos de estas funciones basadas en la regulación y el control que proporcionan los convertidores son:

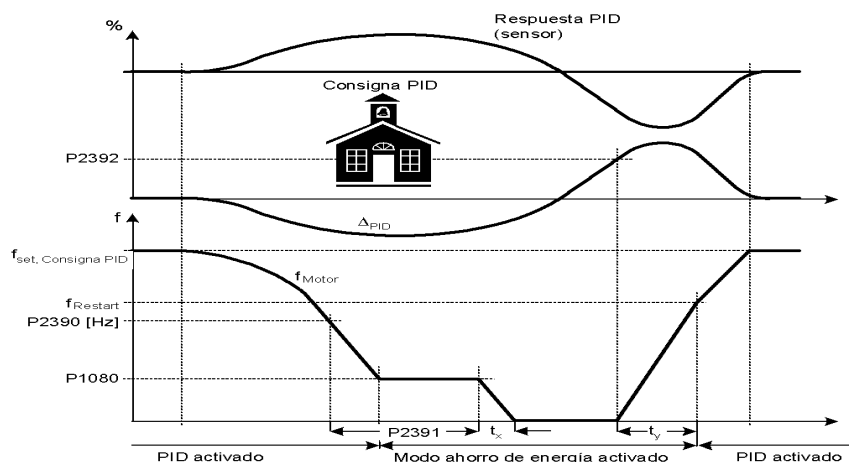
### Regulación automática en función de la demanda:

El convertidor de frecuencia regula la velocidad del motor en base a una consigna predeterminedada mediante el estudio de la aplicación o máquina que acciona el motor, el sistema reaccionará dependiendo de la señal de realimentación que reciba el variador. Esta consigna se compara a través de un regulador PID con la señal de realimentación, que vendrá de un sensor en algún punto de la instalación (p.e. sensor de presión). El convertidor responderá en función de esta comparación, aumentando o disminuyendo la velocidad del motor, hasta conseguir estabilizar el valor real del sensor con en el punto de consigna fija.



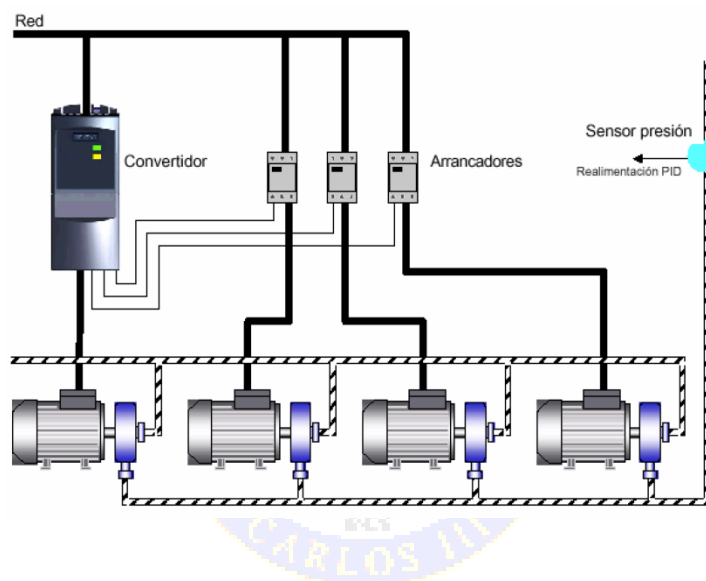
### Modo de ahorro de energía:

Cuando la señal o realimentación controlada por el PID cae por debajo del valor ajustado para el modo de ahorro de energía, se inicia la temporización y el motor baja hasta la velocidad mínima programada, al transcurrir el tiempo que se determina para el temporizador el convertidor y por tanto el motor se para. En el momento que la señal de realimentación superase de nuevo el valor ajustado para el modo de ahorro de energía, el convertidor alimentaría y por tanto pondría en marcha de nuevo al motor hasta llevarlo a la velocidad requerida.



**Modo control de motores auxiliares en cascada:**

Cuando el convertidor se encuentra funcionando a máxima frecuencia durante un cierto tiempo, el controlador entiende que es necesario arrancar otro motor ya que el motor regulado no es capaz de alcanzar el punto de consigna por sí solo, que requiere la demanda. En es momento, el convertidor reduce su velocidad para evitar que la entrada del nuevo motor (todo/nada) causara un problema en la instalación (p.e. sobrepresión). Una vez que el nuevo motor ha sido conectado el convertidor busca de nuevo el punto de consigna y regula el motor que alimenta. Si no se volviese a alcanzar la consigna de nuevo, porque la demanda fuera muy elevada, se repetiría el proceso. Si por causas del proceso, la demanda se hiciera prácticamente nula, el convertidor reduciría su velocidad de trabajo hasta su frecuencia mínima. Si el variador baja hasta su frecuencia mínima y la demanda es todavía inferior, el convertidor daría las señales para desconectar los motores auxiliares y aumentaría su velocidad de nuevo para buscar el punto de consigna.

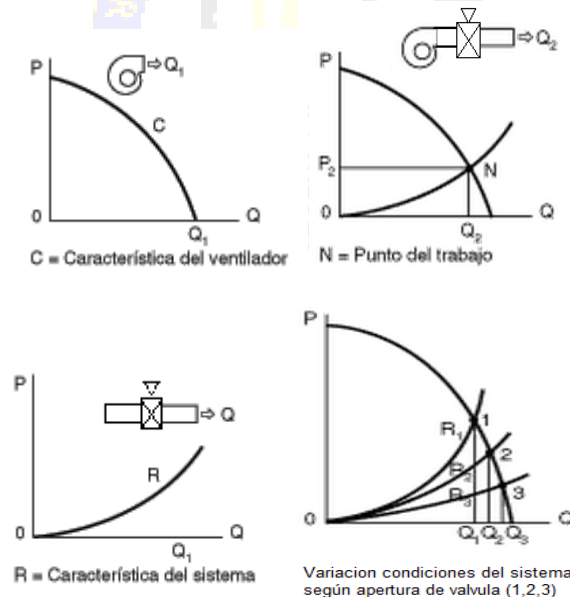




## 4.4 Aplicaciones prácticas con potencial de ahorro energético

Las aplicaciones o sistemas con mayor potencial de ahorro energético o capacidad de optimización de la eficiencia derivado del uso de variadores de frecuencia son las aplicaciones de bombeo, ventilación y compresores, por un lado, por la gran presencia de este tipo de aplicaciones en el sector industrial (industria química, farmacéutica, de alimentación y bebidas, textil, petróleo y gas, papelera, minera o de agua y aguas residuales) y por otro lado, debido al tipo de aplicación donde la carga a accionar tiene una característica de par variable con respecto a la velocidad de funcionamiento que permite que el uso de los convertidores de frecuencia, para la regulación de su funcionamiento y adaptación a los requerimientos de la carga frente a los métodos de regulación tradicional en sistemas de velocidad fija con válvulas mecánicas, aporten una elevada reducción de las pérdidas o consumo de energía necesario.

Por ejemplo en una aplicación o sistema de ventilación donde es necesaria la distribución y regulación del aire en plantas industriales para un sistema determinado, como puede ser en un extractor de una planta de productos químicos donde el extractor tiene que adaptarse a que las condiciones del sistema cambien en cada momento, regulándose para suministrar una presión y caudal de aire determinados. En esta aplicación presión y caudal de aire varían según la curva característica del ventilador, la presión y caudal del sistema completo también varían en función de las necesidades o la regulación según la curva de la carga o curva resistente, así como la potencia absorbida por el ventilador en cada uno de esos puntos, estos valores o parámetros también pueden ser calculados según las leyes de afinidad:



### VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD

$$\text{Caudal } q_v = q_{v0} \frac{n}{n_0}$$

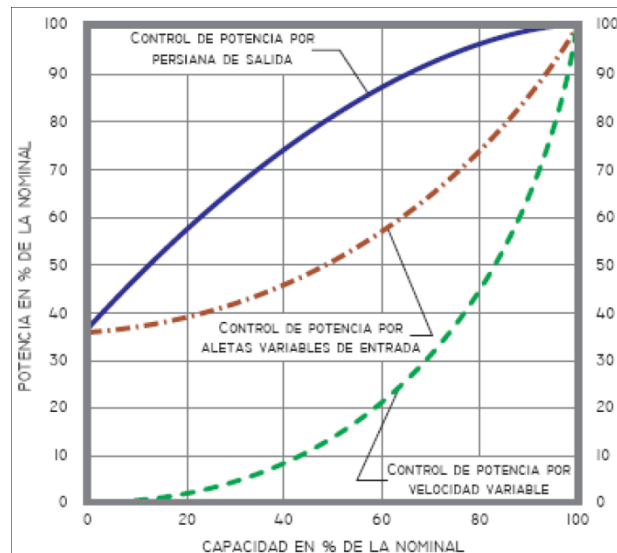
$$\text{Presión } p_F = p_{F0} \left( \frac{n}{n_0} \right)^2$$

$$\text{Potencia } P_r = P_{r0} \left( \frac{n}{n_0} \right)^3$$

$$\text{Nivel Potencia sonora } L_{wt} = L_{wt0} + 50 \log \frac{n}{n_0}$$

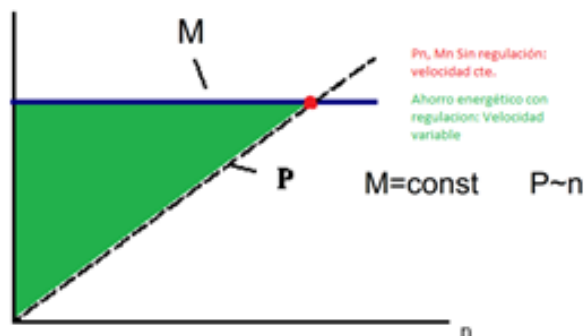
El subíndice cero (0) indica la condición inicial de la variable considerada.

Cuando los ventiladores son accionados a velocidad constante y la salida de caudal es controlada por compuertas u otros medios de regulación tradicionales, en función de los requerimientos del sistema, el motor que acciona el ventilador opera cerca de la carga máxima o a plena carga todo el tiempo, independientemente del caudal suministrado. Una gran cantidad de energía es disipada por estas compuertas que aumentan o disminuyen las pérdidas debidas al estrangulamiento y fricción del aire en función de su apertura para regular la salida. Sin embargo los sistemas de variación de velocidad permiten la operación óptima del ventilador cumpliendo con los requerimientos del sistema, variando la velocidad del motor para entregar el caudal de aire necesario, y por consiguiente adaptando el consumo de energía del mismo.



**Gráfico 39. Ahorro de Energía en Ventiladores con Sistema de Variación de Velocidad**

En aplicaciones de par constante, como por ejemplo cintas transportadoras, la característica de la carga requiere que el par se mantenga constante en el rango de velocidad de funcionamiento y la potencia consumida es proporcionalmente lineal a la velocidad, por lo que la energía consumida aumenta según aumenta la velocidad, en este caso el potencial de ahorro de energía también existe si regulamos la velocidad del motor con un convertidor de frecuencia que acciona la cinta transportadora en función de las necesidades del sistema, frente a un accionamiento a velocidad constante que siempre consumirá la potencia nominal dando el par nominal a la velocidad nominal. Si el sistema está dimensionado para transportar una cierta cantidad de material entregando un determinado par pero puede transportar esa carga en un tiempo inferior, es decir, a menor velocidad la potencia consumida por el motor será inferior por lo tanto podremos ahorrar energía.



**Gráfico 40. Potencial de ahorro en aplicación de par constante con reg. de velocidad**

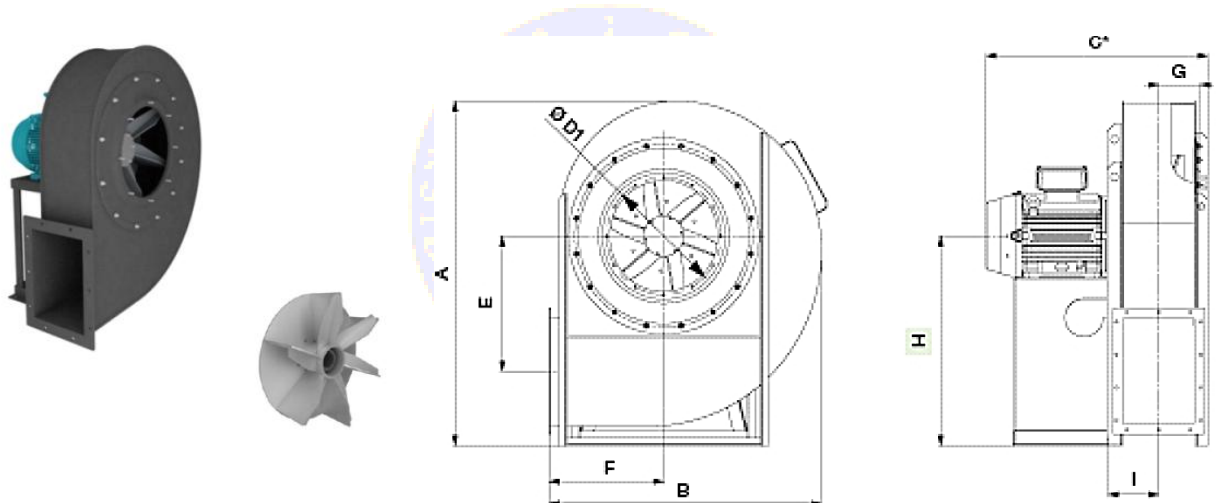
## 4.5 Caso práctico. Estudio comparativo de eficiencia en aplicación con variador de frecuencia vs. regulación tradicional

Como ejemplo práctico, vamos a seleccionar una aplicación de ventilación en la que utilizaremos los datos de un fabricante de ventiladores y las curvas características de este ventilador para realizar la comparación de consumo energético, y por tanto la eficiencia de la aplicación cuando comparamos un sistema de regulación tradicional del sistema por compuertas respecto a un sistema de regulación del sistema con variador de frecuencia.

Las características del ventilador son: [26]

### **CKST/4-1121-LG270-132-400/690~3-RAL7012**

Ventilador centrífugo de acoplamiento directo y simple aspiración. Fabricados en chapa de acero protegida contra la corrosión por pintura poliéster. Rodete de álabes radiales rectos con acabado cincado en frío, equilibrado dinámicamente. Temperaturas del aire a transportar  $-10^{\circ}\text{C}/+120^{\circ}\text{C}$  en continuo. Preparados para transportar materia sólida no filamentosa. Orientación estándar LG-270. Motores de 2 ó 4 polos, de alta eficiencia IE-2, tensión de alimentación trifásica 230/400V 50Hz hasta 3kW y 400/690V 50Hz para potencias superiores. Protección IP-55, Cl. F. Marca S&P modelo CKST/4-1121-LG270-132-400/690~3-RAL7012



El ventilador se ha seleccionado para un punto de trabajo nominal:

Caudal: 62.299 m<sup>3</sup>/h

Presión estática: 2.578 Pa

El ventilador será accionado por un motor trifásico de 132 kW, 4 polos, 400/690 V, 50 Hz, IE2. El fabricante del ventilador facilita las curvas características del mismo, de donde se pueden extraer todos los datos para la realización de los cálculos.

### Punto de trabajo requerido

Caudal	62.256 m <sup>3</sup> /h
Presión estática	2.575 Pa
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 kg/m <sup>3</sup>
Frecuencia	50 Hz
Tensión	400/690~3

### Punto trabajo

Caudal	62.299 m <sup>3</sup> /h
Presión estática	2.578 Pa
Presión dinámica	1.431 Pa
Presión total	4.009 Pa
Rend Total	52,7 %
Potencia útil	132 kW
Velocidad descarga	48,7 m/s
Velocidad ventilador	1490 rpm
Potencia específica	8,75 W/l/s

### Construcción

Diámetro	1121
Tamaño ventilador	1121
Peso	953,00 kg

### Motores

Número de Polos	4
Potencia motor	132 kW
Tensión	400/690~3
Intensidad máxima absorbida	230,0 A / 133,3 A
Índice de protección	IP55
Clase motor	F

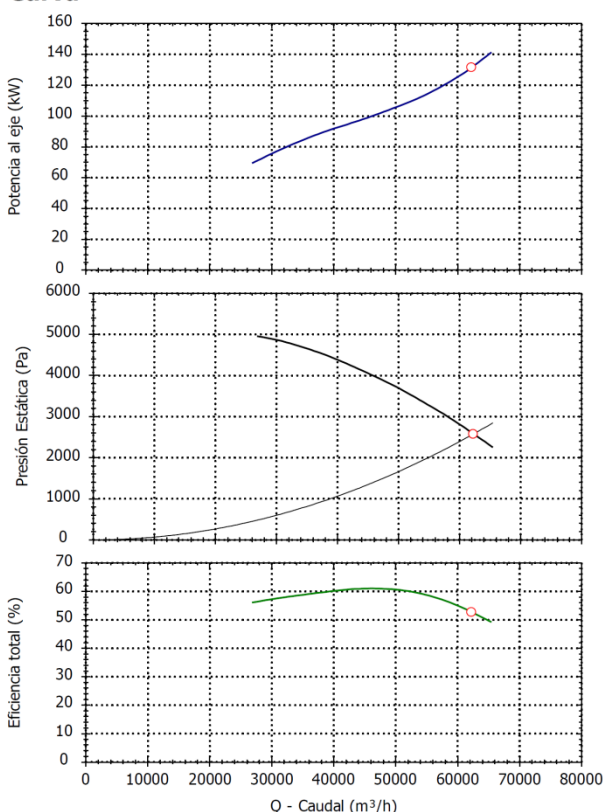
### Dimensiones

Ver dimensiones en hoja separada

### Accesorios

Ver detalle accesorios en hoja separada

### Curva



En las gráficas se indica la potencia absorbida por el ventilador en el eje, para cada punto de trabajo de caudal y presión, en el punto indicado el motor daría su potencia nominal 132 kW, con un caudal de 62.299 m<sup>3</sup>/h y una presión estática de 2.578 Pa. Hay que tener en cuenta que la zona de trabajo de este ventilador está entre  $\approx 43\%$  y el 100 % del caudal de diseño (62.299 m<sup>3</sup>/h).

### Regulación tradicional mediante compuertas:

En una regulación mediante compuertas a la salida del ventilador, el punto de trabajo varia siguiendo la curva de caudal y presión del ventilador en función de la curva de carga del sistema, que variaría dependiendo de la posición de las compuertas para suministrar al sistema un caudal y presión determinados. Tomamos el siguiente perfil de carga o funcionamiento del sistema y tomamos los datos de las curvas características:

100 % Caudal: 62.299 m <sup>3</sup> /h	$P_{\text{eye}} (100\%) = 132 \text{ kW}$	$\text{Tiempo}_{100\%} = 8 \text{ horas}$
80 % Caudal: 49.839 m <sup>3</sup> /h	$P_{\text{eye}} (80\%) \approx 105 \text{ kW}$	$\text{Tiempo}_{80\%} = 6 \text{ horas}$
60 % Caudal: 37.379 m <sup>3</sup> /h	$P_{\text{eye}} (60\%) \approx 88 \text{ kW}$	$\text{Tiempo}_{60\%} = 6 \text{ horas}$
50 % Caudal: 31.149 m <sup>3</sup> /h	$P_{\text{eye}} (50\%) \approx 78 \text{ kW}$	$\text{Tiempo}_{50\%} = 4 \text{ horas}$

Tabla 25. Valores de potencia absorbida por el ventilador para un perfil de carga

Según los datos del fabricante del motor para el rendimiento:

Motor Siemens, 132 kW, 4 polos (1490 rpm), 400/690 V, 50 Hz

$\mu$  (4/4): 94,7 %

$\mu$  (3/4): 94,9 %

$\mu$  (2/4): 94,6 %

Aproximamos que el rendimiento del motor trabajando al 80 % y al 60 % del caudal corresponde con el rendimiento a 3/4 de carga.

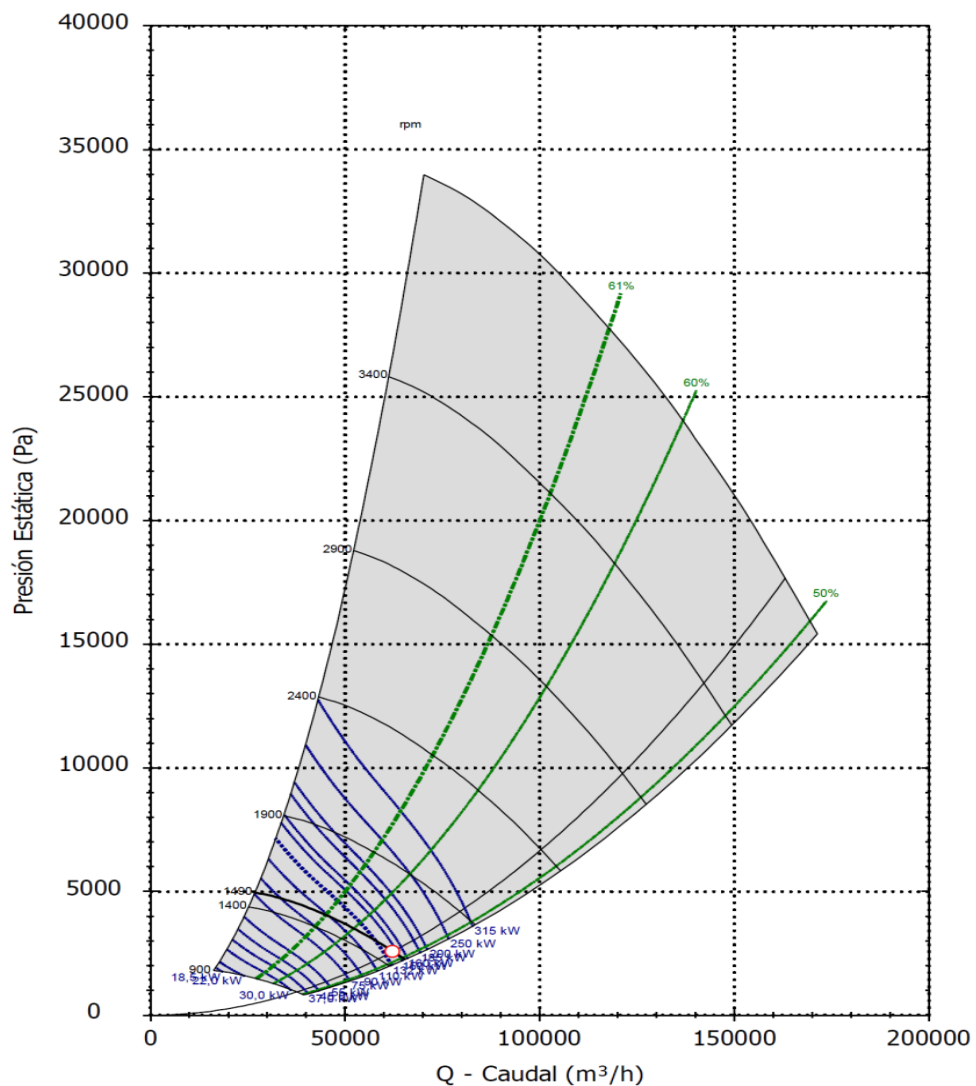
El consumo energético del ventilador, si consideramos que funciona con este perfil de carga sería:

$$\Delta W = (132 \cdot 8) / 0,947 + (105 \cdot 6) / 0,949 + (88 \cdot 6) / 0,949 + (78 \cdot 4) / 0,946 = \mathbf{2.665,14 \text{ kW/día}}$$

### Regulación mediante variador de frecuencia:

En una regulación mediante variador de frecuencia, para suministrar el caudal y presión requerido por el sistema, se varía la velocidad del motor cambiándose la curva del ventilador para cada velocidad. El propio fabricante del ventilador ofrece las curvas características del ventilador para varias velocidades como se muestra a continuación: [26]

### Curva



Gracias a las leyes de afinidad o leyes de funcionamiento de los ventiladores también podemos calcular la potencia absorbida por el ventilador o potencia en el eje del motor, conociendo los distintos caudales requeridos y calculando también la velocidad del motor, a la que haría funcionar el variador de frecuencia, para cada uno de esos caudales.

Tomando el mismo perfil de carga o funcionamiento del sistema que en el caso de la regulación mediante compuertas y utilizando las siguientes leyes de afinidad tenemos:

$$Q_n = Q_0 \cdot (n_n / n_0)$$

$$n_n = n_0 \cdot (Q_n / Q_0)$$

$$P_n = P_0 \cdot (n_n / n_0)^3$$

100 % Caudal: 62.299 m <sup>3</sup> /h (Q <sub>0</sub> )	n <sub>0</sub> = 1490 rpm	P <sub>0</sub> = 132 kW	Tiempo <sub>100%</sub> = 8 horas
80 % Caudal: 49.839 m <sup>3</sup> /h (Q <sub>1</sub> )	n <sub>1</sub> = 1192 rpm	P <sub>1</sub> = 67,58 kW	Tiempo <sub>80%</sub> = 6 horas
60 % Caudal: 37.379 m <sup>3</sup> /h (Q <sub>2</sub> )	n <sub>2</sub> = 894 rpm	P <sub>2</sub> = 28,51 kW	Tiempo <sub>60%</sub> = 6 horas
50 % Caudal: 31.149 m <sup>3</sup> /h (Q <sub>3</sub> )	n <sub>3</sub> = 745 rpm	P <sub>3</sub> = 16,5 kW	Tiempo <sub>50%</sub> = 4 horas

**Tabla 26. Valores del ventilador para un perfil de carga determinado y velocidad variable**

$$\Delta W = (132 \cdot 8)/0,947 + (67,58 \cdot 6)/0,949 + (28,51 \cdot 6)/0,949 + (16,5 \cdot 4)/0,946 = \mathbf{1.792,39 \text{ kW/día}}$$

Por lo tanto en base a los consumos de cada tipo de regulación, tenemos que el ahorro energético total entre un tipo de regulación y otro sería:

$$\mathbf{Ahorro \text{ energético} = 2.665,14 - 1.792,39 = 872,75 \text{ kW/día}}$$

Si consideramos el precio del kWh industrial = 0,099 €

$$\mathbf{Ahorro \text{ energético/hora} = 872,75 / 24 = 36,3646 \text{ kW}}$$

$$\mathbf{Ahorro \text{ coste energético} = 36,36 \cdot 0,099 = 3,59 \text{ €/hora}}$$

Si consideramos que el ventilador en esta aplicación funciona 265 días al año con el mismo perfil que hemos considerado:

$$\mathbf{Ahorro \text{ energético al año} = 872,75 \cdot 265 = 231.278,75 \text{ kW}}$$

$$\mathbf{Ahorro \text{ costes energéticos al año} = 3,59 \cdot 24 \cdot 265 = 22.832,4 \text{ €}}$$



## 5. Aplicación de bombeo. Estudio conjunto de ahorro energético en motores eléctricos y variadores de frecuencia

### 5.1 Descripción de aplicación de bombeo

Las sistemas de bombeo están presentes en infinidad de aplicaciones industriales y en distintos sectores, como la industria química, farmacéutica, de alimentación y bebidas, textil, papelera, minera o de aguas (como las estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR), estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP), instalación desaladora de agua de mar (IDAM)).

El uso de las bombas centrífugas es el más extendido en la actualidad, frente a las bombas de desplazamiento positivo, gracias a sus grandes posibilidades y amplio campo de aplicación, debido principalmente a su velocidad de funcionamiento, que permite su accionamiento directo por motores eléctricos, pequeño tamaño y peso, gran seguridad de marcha y servicio y mínimo número de elementos de desgaste.

La bomba centrífuga es una maquina hidráulica compuesta en esencia por un impulsor con alabes o rodete, que accionado desde el exterior por el eje del motor eléctrico transmite al líquido la energía necesaria para obtener una presión determinada y desplazar un caudal. El cuerpo de la bomba recibe el líquido salido del impulsor o rodete y por su construcción especial transforma su energía cinética en presión, dirigiéndolo al mismo tiempo hacia el exterior por el tubo de impulsión o descarga. Hay gran variedad de bombas en cuanto a sus formas de construcción, de acuerdo con las aplicaciones particulares o imperativos mecánicos.

Las características hidráulicas de una bomba se expresan gráficamente mediante una curva característica construida sobre los ejes Q-H de caudal y presión o altura de impulsión, y también se puede indicar la dependencia entre caudal y rendimiento, caudal y potencia, etc.

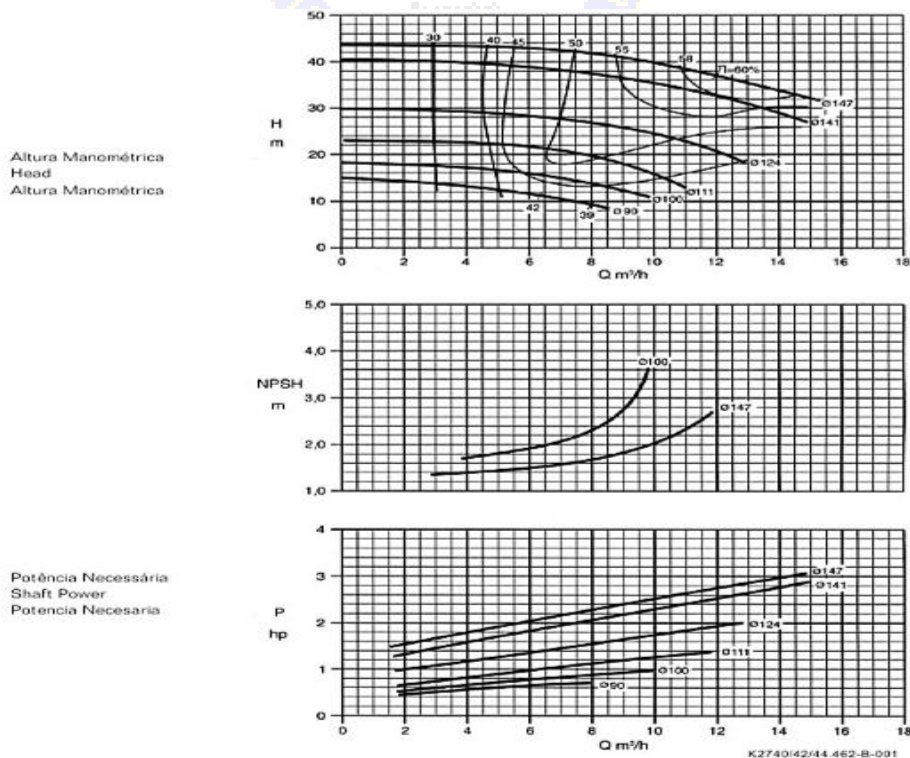
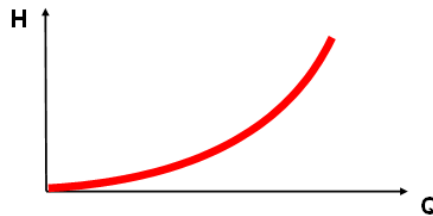


Gráfico 41. Curvas características de una bomba centrífuga

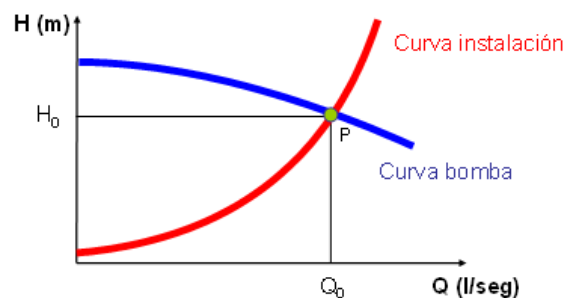


Las bombas deben seleccionarse para adaptarse a los requerimientos de presión y caudal de la instalación que también puede representarse por la curva característica de la instalación, representando las demandas de presión y caudal del trazado, ya que la presión o altura de impulsión necesaria en la instalación viene dada en función del cuadrado de la velocidad del líquido circulante y del parámetro que representa las características físicas de la instalación (diámetros, longitudes, obstáculos, etc.).



**Gráfico 42. Curva característica de una instalación hidráulica**

Por lo tanto la bomba adecuada será la que cubra los requerimientos de presión o altura de impulsión para un caudal determinado en función de la curva de la instalación, el punto donde ambas curvas se corten será el punto de trabajo de la bomba.



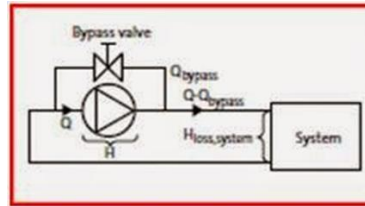
**Gráfico 43. Curva característica bomba-instalación**

La bomba se selecciona para la altura de impulsión o presión y caudal máximos requeridos por la instalación o incluso según las necesidades futuras de la instalación con un margen de seguridad, pero habitualmente el punto de trabajo de la bomba será una fracción de esos parámetros máximos de selección, por lo que se hace necesario algún tipo de regulación para variar y ajustarse a las características necesarias en cada momento.

En aplicaciones de bombeo estos tipos de regulación se pueden dividir principalmente en cuatro métodos:

1. Regulación por By-pass (Modificación de la curva del sistema)
2. Control por arranque/paro de la bomba
3. Regulación por válvula de control en la impulsión (Modificación de la curva del sistema)
4. Control por variación de velocidad de la bomba (Modificación curva de la bomba)

1. En la regulación por By-pass se utiliza una válvula en paralelo entre la entrada de aspiración y la salida de impulsión de la bomba, haciendo recircular parte del caudal enviado al sistema de vuelta a la aspiración de la bomba, en este caso se desperdicia una cierta cantidad de energía necesaria para impulsar ese caudal al sistema que se recircula de vuelta.



2. El control por arranque/paro de la bomba se utiliza cuando no es necesario una regulación progresiva de la bomba en base a las necesidades del sistema, este sistema es habitual en depósitos de almacenamiento donde solo es necesario mantener el nivel o presión del depósito entre unos niveles establecidos, es decir, la bomba está funcionando cuando el nivel del depósito o presión no está al nivel mínimo establecido y una vez se alcanza el nivel máximo la bomba se para.
3. El método de regulación por válvula de control es el método tradicional más utilizado, se basa en regular el caudal entregado al sistema mediante la actuación de la válvula cerrándola o abriéndola, de tal forma que se modifique la curva del sistema aumentando las pérdidas en el sistema de bombeo.

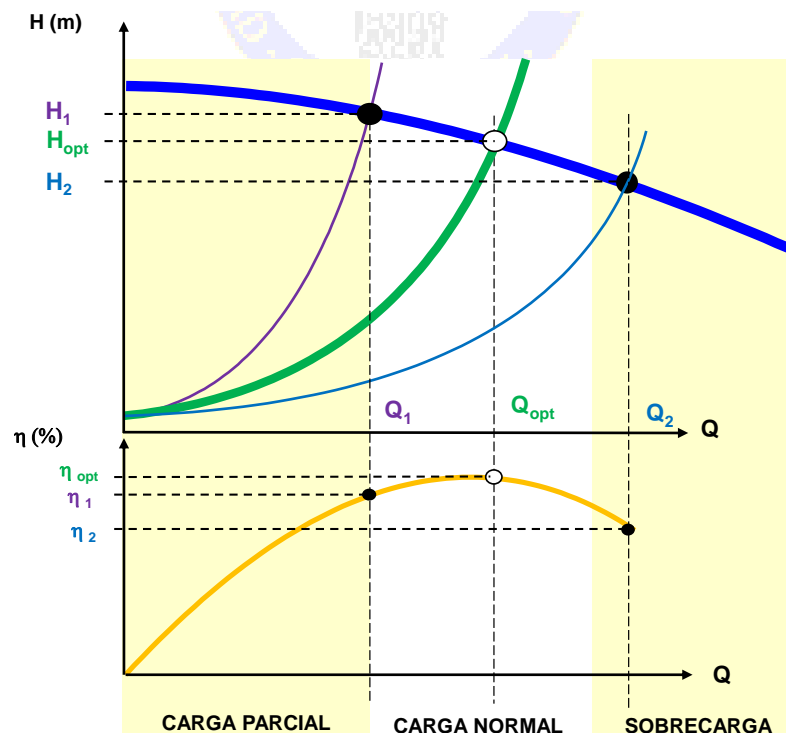
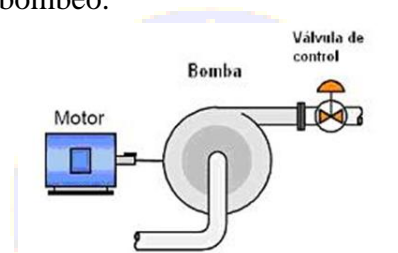
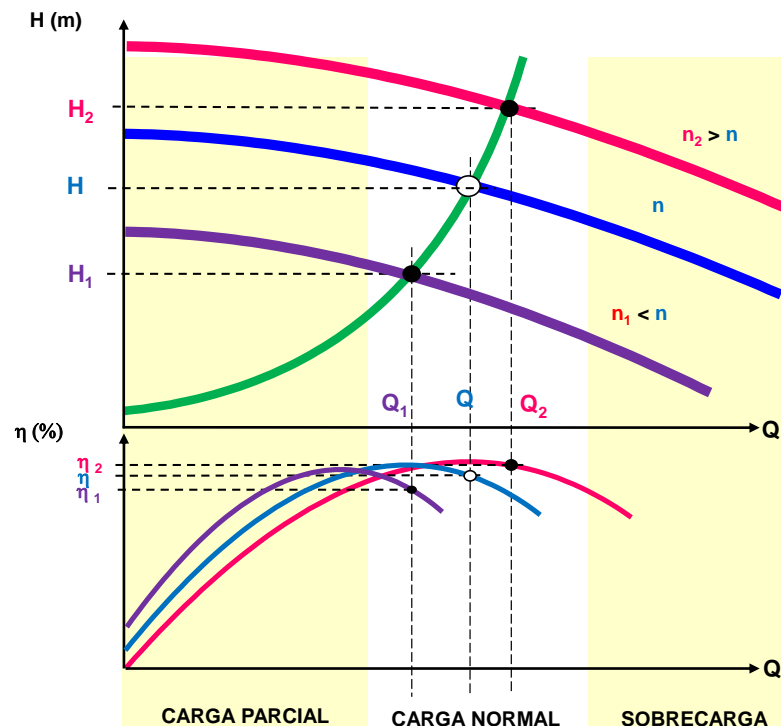


Grafico 44. Curva característica bomba con regulación por válvula de control

Cuando se abre o cierra la válvula para entregar el caudal 1 ( $Q_1$ ) o caudal 2 ( $Q_2$ ) se modifica la curva del sistema según la **curva 1** o **curva 2**, teniendo unos valores de presión o altura de impulsión ( $H_1$  y  $H_2$ ) y **rendimiento de la bomba** ( $\mu_1$  y  $\mu_2$ ), donde, simplificando para la misma densidad del fluido, podríamos calcular la potencia absorbida por la bomba según:

$$P_h = \frac{Q \cdot H}{\eta}$$

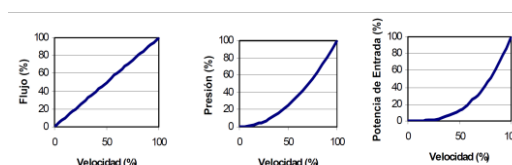
4. En el control por variación de la velocidad de la bomba se modifica la curva característica de la bomba cambiando la velocidad de giro de la misma y por tanto variando el punto de trabajo con un caudal y presión distintos



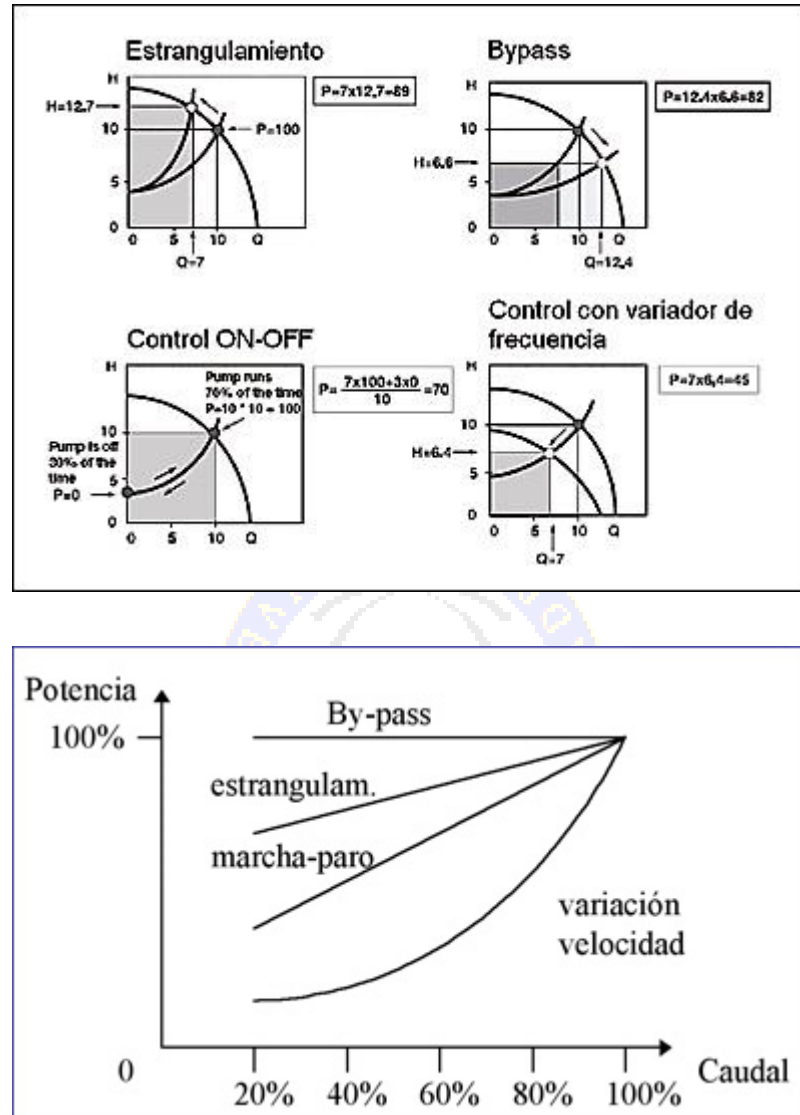
**Grafico 45. Curva característica bomba con regulación mediante variación de la velocidad**

Cuando se varía la velocidad del motor que acciona la bomba se pasa, por ejemplo reduciendo esta velocidad, de la **curva n** a la **curva n<sub>1</sub>** consiguiéndose pasar del caudal  $Q$ , altura  $H$  y rendimiento  $\mu$  al caudal  $Q_1$ , altura  $H_1$  y rendimiento  $\mu_1$ , según las leyes de afinidad que se aplican en las bombas hidráulicas cuando hay un cambio en el número de revoluciones  $n_1$ , a otro  $n_2$ , el caudal varía linealmente con la velocidad, la altura  $H$  o presión varía cuadráticamente, mientras que la potencia absorbida varía cúbicamente con la velocidad, por lo que podíamos calcular todos estos parámetros para una variación determinada de la velocidad de la bomba [22]

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Q_1}{Q_2} ; \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = \frac{H_1}{H_2} ; \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \frac{P_{h1}}{P_{h2}}$$



Por lo tanto, según hemos visto para estos 4 métodos de control para la regulación de las características hidráulicas en un sistema de bombeo, el ahorro energético o disminución del consumo de potencia absorbido por la bomba y por lo tanto la potencia eléctrica consumida por el motor que acciona la bomba es diferente para cada uno de ellos. [21]



**Gráfico 46. Potencia absorbida en la bomba para distintos métodos de regulación [31]**

A continuación en el caso práctico, podremos comprobar de manera cuantitativa lo descrito de manera cualitativa en este punto, el efecto y potencial de ahorro energético que aportaría el sistema de regulación de una aplicación de bombeo dependiendo del sistema utilizado para su regulación así como el uso de motores con distinta clase de eficiencia.

## 5.2 Caso Práctico. Datos de la instalación.

La instalación base de estudio para los cálculos de este caso práctico es la IDAM de Lanzarote IV, los datos a utilizar se han extraído del pliego de bases de prescripciones técnicas particulares de la rehabilitación de esta instalación emitido por Canal Gestión Lanzarote.

El sistema de fabricación de agua potable, a partir del agua de mar, en la isla de Lanzarote, está basado en dos centros de producción:

- Punta de los Vientos
- Janubio

El centro de Punta de los Vientos situado en el Término Municipal de Arrecife, posee en la actualidad dos Plantas desaladoras de producción, denominadas Lanzarote III, arrancada en el año 1.991 y Lanzarote IV, arrancada en el año 1.999.

Ambas poseen 5 líneas de producción con una producción diaria de 30.000 m<sup>3</sup> / día, lo que hace un total de 60.000 m<sup>3</sup> / día.

El centro de Janubio, posee tres líneas de producción, dos de 4.000 m<sup>3</sup> / día y otra de 3.500 m<sup>3</sup> / día, lo que hace un total de 11.500 m<sup>3</sup> / día.

La producción total de 71.500 m<sup>3</sup> / día, por diferentes razones, no es suficiente para atender la demanda de la isla, lo que obliga a efectuar cortes de suministro de forma continuada.

Esta situación origina que el mantenimiento preventivo no se realice de manera eficiente, al no existir reservas que puedan sustituir la pérdida de producción durante las paradas. Igualmente, los niveles de boro en el producto, se encuentran cercanos al límite permitido.

Aunque en el centro de producción de Punta de los Vientos se está llevando a cabo la construcción de una nueva Planta desaladora, denominada Lanzarote V, con una producción de 18.000 m<sup>3</sup> / día, que estaba prevista que comenzara su producción a mediados de 2.013, al presente se desconoce la fecha de su puesta en marcha.

A la anterior situación se une el hecho de que los consumos energéticos de todas las líneas de producción sean elevados, debido principalmente al hecho de que los sistemas de recuperación de energía son obsoletos (Lanzarote III y Janubio cuentan con turbinas Francis y Lanzarote IV con turbinas Pelton) y en menor medida a las altas presiones de trabajo debido a la antigüedad y baja productividad de las membranas de osmosis inversa utilizadas. [24]

A la vista de la anterior situación, la nueva empresa concesionaria del servicio, Canal Gestión Lanzarote S.A.U., ha decidido acometer una serie de actuaciones en orden a: [24]

- Disminuir el consumo energético
- Mejorar la calidad del agua producto
- Contar con una unidad de reserva.
- Efectuar un mantenimiento preventivo de calidad





#### DATOS DE PARTIDA: [24]

- Caudales:

Producción diaria:	10.000 m <sup>3</sup> /día por línea
Alimentación de agua de mar en baja presión a la BAP:	422 m <sup>3</sup> / h
Alimentación de agua de mar en alta presión al bastidor:	926 m <sup>3</sup> / h.
Agua desalada producida:	417 m <sup>3</sup> / h.
Salmuera en alta presión a ERE:	509 m <sup>3</sup> /h.
Salmuera en baja presión de ERE al mar:	509 m <sup>3</sup> / h.
Alimentación de agua de mar a ERE:	504 m <sup>3</sup> / h.
Agua de mar a alta presión salida de ERE:	504 m <sup>3</sup> / h.
Agua de mar a alta presión de bomba de recirculación:	504 m <sup>3</sup> / h.
- Recuperación: 45%
- Presiones:

Presión aspiración BAP:	2,5 bar.
Presión de alimentación a bastidor al año 0 y 19°C:	54,7 bar.
Presión de alimentación a bastidor al año 0 y 23°C:	52,8 bar.
Presión de alimentación a bastidor al año 3 y 19°C:	56,8 bar.
Presión de alimentación a bastidor al año 3 y 23°C:	54,5 bar.
Presión diferencial bomba de recirculación:	3 bar.

De las opciones planteadas en el pliego en relación a los puntos de mejoras a acometer anteriormente descritos, se adopta la decisión final de incrementar el caudal de los bastidores un 66%, lo que supone incrementar la producción de agua de 6.000 m<sup>3</sup>/día a 10.000 m<sup>3</sup>/día, pasando de 5 líneas de producción (se elimina la línea 5 y la línea 4 se mantendría de reserva) a 3, manteniendo la producción diaria total de 30.000 m<sup>3</sup>. [24]

En base a este pliego y en relación al punto de las acciones a acometer para disminuir el consumo energético en esta instalación, para el caso práctico del presente proyecto, nos vamos a centrar en los cálculos de ahorro energético y económico para la instalación de las nuevas bombas de recirculación planteado en el pliego, ya que las bombas de alta presión (BAP) son motores de gran potencia con tensión de alimentación > 1000 V lo que hace que sean motores que se han fabricado específicamente y por lo tanto no sería posible la obtención de los datos necesarios. [24]

#### **DATOS BOMBA DE RECIRCULACIÓN:**

Dado que la presión del agua de mar a la salida del sistema de recuperación de energía, es inferior a la presión de alimentación del bastidor de membranas, principalmente debido a las pérdidas originadas en los tubos de presión y en el propio sistema de recuperación de energía, es necesario incrementar dicha presión, mediante un sistema de bombeo. [24]

Dicha bomba se calculará para un punto de trabajo con un caudal de **504 m<sup>3</sup>/h** y una **altura manométrica = 3 bar** (resultante de la pérdida máxima de carga en el bastidor de membranas más pérdida de presión en el sistema de recuperación de energía, más pérdidas en tuberías y válvulas, más un valor de seguridad de al menos 1 bar según indicado en [24]).

El **motor eléctrico de la bomba**, (marca ABB, SIEMENS o WEG), poseerá una potencia **de, al menos, un 20 % sobre la de la bomba a la máxima presión de trabajo esperada** y será de alta eficiencia, tropicalizado, con un IP55 y apto para ser controlado por un variador de frecuencia. [24]

El **variador de frecuencia** poseerá una **potencia neta de salida** disponible, de al menos **un 15% superior a la máxima del motor**. [24]





Puesto que las bombas de recirculación son una instalación no existente, para realizar los cálculos de consumos de energía y ahorros, es necesario seleccionar una bomba según los datos indicados y obtener los datos necesarios para el cálculo mediante las curvas del fabricante, seleccionar de igual manera el motor que accionará la bomba y el variador de frecuencia.

Los datos de que se dispone para la selección de estas bombas según los supuestos indicados en el pliego son: [24]

Caudal a suministrar por la bomba de recirculación: **504 m<sup>3</sup>/h**

Presión diferencial de la bomba (perdida máxima de carga en el bastidor de membranas más pérdida de presión en el sistema de recuperación de energía, más pérdidas en tuberías y válvulas, más un valor de seguridad de al menos 1 bar). Presión diferencial media a mantener = **3 bar (30,6 m.c.a.)** [24]

Con estos datos seleccionamos una bomba para ese punto de trabajo de los catálogos del fabricante, en este caso la bomba seleccionada es del fabricante Flowserve, bomba centrífuga horizontal para aplicaciones de agua, modelo ME 200-355 y los datos de la bomba según su curva característica son los indicados en el *Anexo I*. [27]

Para la selección del motor que acciona la bomba tomamos los siguientes datos:

Potencia nominal demandada por la bomba en el punto de trabajo: 50,6 kW

Máxima potencia demandada por la bomba: 60,6 kW

**Potencia del motor recomendada: 75 kW**

Velocidad de diseño de la bomba: 1485 rpm

Eficiencia de la bomba en el punto de trabajo: 82,9%

Con estos datos y teniendo en cuenta la indicación en el pliego de este proyecto de rehabilitación, relativo al motor que acciona la bomba, donde indica que el motor poseerá un potencia un 20% superior a la requerida por la bomba, seleccionaremos un motor de 90 kW, 1500 rpm, 400 V, 50 Hz, horizontal.

Tomaremos los datos de un motor de estas características para realizar los cálculos de consumo y ahorro energético en el siguiente punto de este capítulo.



## 5.3 Cálculo de ahorro energético en motores eléctricos

A continuación realizaremos los cálculos de consumo y ahorro energético para el motor de las características indicadas que accionará las bombas de nueva instalación, según la información del fabricante y las hojas de datos recogidas en el **Anexo 2**, comparando los consumos y ahorros energéticos según la clase de eficiencia de este motor (IE2, IE3 o IE4) y en base a las formulas utilizadas en el punto 3.10 de este proyecto.

Según se recoge en el pliego, la IDAM de Lanzarote IV estará funcionando durante 350 días al año, no se indica un perfil de carga o perfil de trabajo para los servicios de esta instalación por lo tanto tomaremos un perfil de trabajo típico para estas bombas a diferentes cargas como base del estudio:

Horas de funcionamiento de la bomba a plena carga (4/4): 12 horas.

Horas de funcionamiento de la bomba a 3/4 carga: 6 horas.

Horas de funcionamiento de la bomba a 2/4 carga: 6 horas.

**Motor IE2** apto para funcionamiento con variador:

Caso 1: Horas de trabajo al año		8400					
Pn	90	kW					
Tipo motor:	1LE1501-2DB23-4AJ4-Z+L50						
Fabricante:	Siemens						
P s (2/4)	45	μ (2/4)	93,6	t (2/4)	6	h	T1 350 días/año
P s (3/4)	67,5	μ (3/4)	94,3	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)	90	μ (4/4)	94,2	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		100961,54	kWh/año				
Consumo energético (3/4) =		150318,13	kWh/año				
Consumo energético (4/4) =		401273,89	kWh/año				
Consumo energético Total =		652553,56	kWh/año				
Emisiones CO <sub>2</sub> :		189240,53	KgCO2/año				
Coste kW/h industrial:		0,099 €					
Costes energéticos/año:		64.603 €					
Vida util estimada:		20 años					
Costes totales CDV:		1.299.448,49 €					
Costes energéticos CDV:		1.292.056,04 €					
Precio Venta del motor		20.310,00 €	Descuento:		70%		
Costes de adquisición:		6.093,00 €					
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		1.299,45 €					



### Motor IE3 apto para funcionamiento con variador:

Caso 1: Horas de trabajo al año		8400						
Pn		90	kW					
Tipo:		1LE1503-2DB23-4AJ4-Z+L50						
Fabricante:		Siemens						
P s (2/4)		45	μ (2/4)	95,3	t (2/4)	6	h	T1 350 días/año
P s (3/4)		67,5	μ (3/4)	95,5	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)		90	μ (4/4)	95,2	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		99160,55	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		148429,32	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		397058,82	kWh/año					
Consumo energético Total =		644648,69	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		186948,12	KgCO2/año					
Ahorro energético total		7904,87	kWh/año					
Coste kWh industrial:		0,099 €						
Ahorro coste energético		782,58 €						
t <sub>A</sub>		0,61	años					
Vida util estimada		20	años					
Ahorro costes energéticos CDV		15.651,64 €						
Costes totales CDV:		1.284.261,66 €						
Costes energéticos CDV:		1.276.404,40 €						
Precio Venta del motor		21.910,00 €	Descuento:		70%			
Costes de adquisición:		6.573,00 €						
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		1.284,26 €						

### Motor IE4 apto para funcionamiento con variador:

Caso 1: Horas de trabajo al año		8400						
Pn		90	kW					
Tipo:		1LE1504-2DB23-4AJ4-Z+L50						
Fabricante:		Siemens						
P s (2/4)		45	μ (2/4)	96,2	t (2/4)	6	h	T1 350 días/año
P s (3/4)		67,5	μ (3/4)	96,4	t (3/4)	6	h	
P s (4/4)		90	μ (4/4)	96,1	t (4/4)	12	h	
Consumo energético (2/4) =		98232,85	kWh/año					
Consumo energético (3/4) =		147043,57	kWh/año					
Consumo energético (4/4) =		393340,27	kWh/año					
Consumo energético Total =		638616,69	kWh/año					
Emisiones CO <sub>2</sub> :		185198,84	KgCO <sub>2</sub> /año					
Ahorro energético total		13936,87	kWh/año					
Coste kWh industrial:		0,099 €						
Ahorro coste energético		1.379,75 €						
t <sub>A</sub>		0,76	años					
Vida util estimada		20	años					
Ahorro costes energéticos CDV		27.595,00 €						
Costes totales CDV:		1.272.876,92 €						
Costes energéticos CDV:		1.264.461,04 €						
Precio Venta del motor		23.810,00 €	Descuento:		70%			
Costes de adquisición:		7.143,00 €						
Costes instalación y mantenimiento (0,1%)		1.272,88 €						

## 5.4 Cálculo de ahorro energético con variadores de frecuencia

La utilización de un variador de frecuencia para accionar los motores de estas bombas permite ajustarse a los requerimientos del proceso en cada momento, permitiendo poder adaptar la presión diferencial o el caudal a entregar por la de la bomba en función de los cambios que se puedan producir en el flujo que llega a las mismas desde el equipo de recuperación de energía de la planta, para después suministrarlo al bastidor de osmosis inversa.

La bomba seleccionada consumiría una potencia en su eje para el punto de trabajo de diseño de:

Caudal: **504 m<sup>3</sup>/h**

Presión o altura de impulsión: 3 bar = **30,6 m.c.a.**

Velocidad: 1485 r.p.m.

**Potencia eje bomba: 50,6 kW**

Eficiencia de la bomba en el punto de trabajo: **82,9%**

**Días de funcionamiento al año: 350**

Tomando el siguiente perfil de carga estándar y según las curvas de la bomba del **Anexo 1**:

100 % Caudal: 504 m <sup>3</sup> /h	P <sub>bomba</sub> (100%) = 50,6 kW	Tiempo <sub>100%</sub> = 12 horas
75 % Caudal: 378 m <sup>3</sup> /h	P <sub>bomba</sub> (75%) ≈ 44,8 kW	Tiempo <sub>75%</sub> = 8 horas
50 % Caudal: 252 m <sup>3</sup> /h	P <sub>bomba</sub> (50%) ≈ 38,4 kW	Tiempo <sub>50%</sub> = 4 horas

**Tabla 27. Potencia absorbida por la bomba para un perfil de carga determinado**

Tomando los datos de eficiencia del motor de las hojas de datos del fabricante del **Anexo 2**:

	η <sub>100%</sub>	η <sub>75%</sub>	η <sub>50%</sub>
Motor IE2	94,2	94,3	93,6
Motor IE3	95,2	95,5	95,3
Motor IE4	96,1	96,4	96,2

**Tabla 28. Valores de rendimiento de los motores a distintas cargas**

η<sub>bomba</sub> (100% Carga): 82,9 %

η<sub>bomba</sub> (75% Carga): 78,4%

η<sub>bomba</sub> (50% Carga): 64,1 %

El consumo energético para los distintos motores con una **regulación tradicional por válvula de estrangulamiento** y con el perfil de carga indicado serían:

$$\Delta W_{IE2} = \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{IE2}} \right]_{100\%} \cdot t_{100\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{IE2}} \right]_{75\%} \cdot t_{75\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{IE2}} \right]_{50\%} \cdot t_{50\%} \quad (15)$$

$$\Delta W_{IE3} = \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{IE3}} \right]_{100\%} \cdot t_{100\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{IE3}} \right]_{75\%} \cdot t_{75\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{IE3}} \right]_{50\%} \cdot t_{50\%} \quad (16)$$

$$\Delta W_{IE4} = \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{IE4}} \right]_{100\%} \cdot t_{100\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{IE4}} \right]_{75\%} \cdot t_{75\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{IE4}} \right]_{50\%} \cdot t_{50\%} \quad (17)$$

$$\Delta W_{IE2} = \frac{50,6}{0,829 \cdot 0,942} \cdot 12 + \frac{44,8}{0,784 \cdot 0,943} \cdot 8 + \frac{38,4}{0,641 \cdot 0,936} \cdot 4 = \mathbf{1.518,33 \text{ kW}}$$

$$\Delta W_{IE3} = \frac{50,6}{0,829 \cdot 0,952} \cdot 12 + \frac{44,8}{0,784 \cdot 0,955} \cdot 8 + \frac{38,4}{0,641 \cdot 0,953} \cdot 4 = \mathbf{1.499,51 \text{ kW}}$$

$$\Delta W_{IE4} = \frac{50,6}{0,829 \cdot 0,961} \cdot 12 + \frac{44,8}{0,784 \cdot 0,964} \cdot 8 + \frac{38,4}{0,641 \cdot 0,962} \cdot 4 = \mathbf{1.485,48 \text{ kW}}$$

$$\Delta W_{IE2}(\text{anual}) = 1518,33 \cdot 350 = \mathbf{531.415,5 \text{ kW}} \quad (18)$$

$$\Delta W_{IE3}(\text{anual}) = 1499,51 \cdot 350 = \mathbf{524.828,5 \text{ kW}} \quad (19)$$

$$\Delta W_{IE4}(\text{anual}) = 1485,48 \cdot 350 = \mathbf{519.918 \text{ kW}} \quad (20)$$

El consumo energético derivado del uso del **variador de frecuencia** frente a un método de regulación por válvula de estrangulamiento serían los siguientes, tomando el mismo perfil de carga anteriormente indicado, según las leyes de afinidad que aplican a las bombas hidráulicas y con los datos de rendimiento de las hojas de datos del fabricante de los variadores recogido en el **Anexo 3**:

$$P_{bomba\ n} = P_{bomba(100\%)} \cdot \left[ \frac{n_n}{n_{100\%}} \right]^3 \quad (21)$$

100 % Caudal: 504 m <sup>3</sup> /h	P <sub>bomba</sub> (100%) = 50,6 kW	Tiempo <sub>100%</sub> = 12 horas
75 % Caudal: 378 m <sup>3</sup> /h	P <sub>bomba</sub> (75%) ≈ 21,3 kW	Tiempo <sub>75%</sub> = 8 horas
50 % Caudal: 252 m <sup>3</sup> /h	P <sub>bomba</sub> (50%) ≈ 6,3 kW	Tiempo <sub>50%</sub> = 4 horas

**Tabla 29. Valores de potencia absorbida por la bomba para un perfil de carga determinado**

$\eta_{vdf}$  (100% Carga): 98 %

$\eta_{vdf}$  (75% Carga): 97,4 %

$\eta_{vdf}$  (50% Carga): 96,5 %

$$\Delta W_{IE2+vdf} = \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{vdf} \cdot \eta_{IE2}} \right]_{100\%} \cdot t_{100\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{vdf} \cdot \eta_{IE2}} \right]_{75\%} \cdot t_{75\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{vdf} \cdot \eta_{IE2}} \right]_{50\%} \cdot t_{50\%} \quad (22)$$

$$\Delta W_{IE3+vdf} = \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{vdf} \cdot \eta_{IE3}} \right]_{100\%} \cdot t_{100\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{vdf} \cdot \eta_{IE3}} \right]_{75\%} \cdot t_{75\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{vdf} \cdot \eta_{IE3}} \right]_{50\%} \cdot t_{50\%} \quad (23)$$

$$\Delta W_{IE4+vdf} = \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{vdf} \cdot \eta_{IE4}} \right]_{100\%} \cdot t_{100\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{vdf} \cdot \eta_{IE4}} \right]_{75\%} \cdot t_{75\%} + \left[ \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} \cdot \eta_{vdf} \cdot \eta_{IE4}} \right]_{50\%} \cdot t_{50\%} \quad (24)$$



$$\Delta W_{IE2+vd f} = \frac{50,6}{0,829 \cdot 0,98 \cdot 0,942} \cdot 12 + \frac{21,3}{0,784 \cdot 0,974 \cdot 0,943} \cdot 8 + \frac{6,3}{0,641 \cdot 0,965 \cdot 0,936} \cdot 4 = \mathbf{1.073,58 \text{ kW}}$$

$$\Delta W_{IE3+vd f} = \frac{50,6}{0,829 \cdot 0,98 \cdot 0,952} \cdot 12 + \frac{21,3}{0,784 \cdot 0,974 \cdot 0,955} \cdot 8 + \frac{6,3}{0,641 \cdot 0,965 \cdot 0,953} \cdot 4 = \mathbf{1.061,49 \text{ kW}}$$

$$\Delta W_{IE4+vd f} = \frac{50,6}{0,829 \cdot 0,98 \cdot 0,961} \cdot 12 + \frac{21,3}{0,784 \cdot 0,974 \cdot 0,964} \cdot 8 + \frac{6,3}{0,641 \cdot 0,965 \cdot 0,962} \cdot 4 = \mathbf{1.051,56 \text{ kW}}$$

$$\Delta W_{IE2+vd f}(\text{anual}) = 1.073,58 \cdot 350 = \mathbf{375.753 \text{ kW}} \quad (25)$$

$$\Delta W_{IE3+vd f}(\text{anual}) = 1.061,49 \cdot 350 = \mathbf{371.521,5 \text{ kW}} \quad (26)$$

$$\Delta W_{IE4+vd f}(\text{anual}) = 1.051,56 \cdot 350 = \mathbf{368.046 \text{ kW}} \quad (27)$$



## 5.5 Cálculo de ahorro económico

Para realizar el cálculo del ahorro económico que tendríamos con las distintas variantes planteadas necesitamos:

Precio kWh eléctrico industrial: **0,099 €** [19]

Teniendo los consumos energéticos de cada una de las variantes:

$$\Delta W_{IE2}(anual) = 531.415,5 \text{ kW}$$

$$\Delta W_{IE3}(anual) = 524.828,5 \text{ kW}$$

$$\Delta W_{IE4}(anual) = 519.918 \text{ kW}$$

$$\Delta W_{IE2+vdf}(anual) = 375.753 \text{ kW}$$

$$\Delta W_{IE3+vdf}(anual) = 371.521,5 \text{ kW}$$

$$\Delta W_{IE4+vdf}(anual) = 368.046 \text{ kW}$$

$$\text{Coste energético (anual)} = \text{Consumo energético anual} \cdot \text{Coste Kwh industrial} \quad (28)$$

$$\text{Coste energético}_{IE2} (anual) = 531.415,5 \cdot 0,099 = 52.610 \text{ €} \quad (29)$$

$$\text{Coste energético}_{IE3} (anual) = 524.828,5 \cdot 0,099 = 51.958 \text{ €} \quad (30)$$

$$\text{Coste energético}_{IE4} (anual) = 519.918 \cdot 0,099 = 51.472 \text{ €} \quad (31)$$

$$\text{Coste energético}_{IE2+vdf} (anual) = 375.753 \cdot 0,099 = 37.200 \text{ €} \quad (32)$$

$$\text{Coste energético}_{IE3+vdf} (anual) = 371.521,5 \cdot 0,099 = 36.781 \text{ €} \quad (33)$$

$$\text{Coste energético}_{IE4+vdf} (anual) = 368.046 \cdot 0,099 = 36.437 \text{ €} \quad (34)$$

Teniendo los costes energéticos totales de cada variante para los motores con distinto nivel de eficiencia, que accionarían la bomba con un sistema de regulación tradicional, y también los costes energéticos totales para cada tipo de motor con una regulación a través de variador de frecuencia, podemos calcular y comparar el ahorro económico de cada una de estas soluciones:

$$\text{Ahorro coste energético anual(Motor IE2 vs. IE3)} = 52.610 - 51.958 = 652 \text{ €} \quad (35)$$

$$\text{Ahorro coste energético anual(Motor IE2 vs. IE4)} = 52.610 - 51.472 = 1.138 \text{ €} \quad (36)$$

$$\text{Ahorro coste energético anual(IE2 vs. IE2 + vdf)} = 52.610 - 37.200 = 15.410 \text{ €} \quad (37)$$

$$\text{Ahorro coste energético anual(IE3 vs. IE3 + vdf)} = 51.958 - 36.781 = 15.177 \text{ €} \quad (38)$$

$$\text{Ahorro coste energético anual(IE4 vs. IE4 + vdf)} = 51.472 - 36.437 = 15.065 \text{ €} \quad (39)$$

## 5.6 Tiempo de amortización de la inversión

Con los ahorros de costes energéticos para cada variante planteada, podemos calcular el tiempo de amortización de la inversión de la siguiente manera:

	REFERENCIA	PRECIO NETO
MOTOR IE2	1LE1501-2DB23-4AJ4-Z+L50	<b>6.093 €</b>
MOTOR IE3	1LE1503-2DB23-4AJ4-Z+L50	<b>6.573 €</b>
MOTOR IE4	1LE1504-2DB23-4AJ4-Z+L50	<b>7.143 €</b>
VARIADOR DE FRECUENCIA	6SL3710-1GE32-1AA3	<b>7.358 €</b>

**Tabla 30. Precios netos de motores y variadores**

$$t_A = \frac{\text{Precio neto del motor comparado} - \text{Precio neto del motor base}}{\text{Ahorro coste energético motor base vs. motor comparado}} \quad (40)$$

$t_A$ : Tiempo amortización de la inversión (años)  
 Precio neto del motor comparado: Precio neto de venta del motor comparado (información del fabricante)  
 Precio neto del motor base: Precio neto de venta del motor a comparar (información del fabricante)  
 Ahorro coste energético motor base vs. Motor comparado: Ahorro coste energético de (35) y (36)

$$t_{A(IE2 \text{ vs. } IE3)} = \frac{\text{Precio neto (Motor IE3)} - \text{Precio neto (Motor IE2)}}{\text{Ahorro coste energético anual (Motor IE2 vs. IE3)}} = \frac{6.573 - 6.093}{652} = \mathbf{0,74} \quad (41)$$

$$t_{A(IE2 \text{ vs. } IE4)} = \frac{\text{Precio neto (Motor IE4)} - \text{Precio neto (Motor IE2)}}{\text{Ahorro coste energético anual (Motor IE2 vs. IE4)}} = \frac{7.143 - 6.093}{1.138} = \mathbf{0,92} \quad (42)$$

$$t_A = \frac{\text{Precio neto del motor} + \text{vdf comparado} - \text{Precio neto del motor comparado}}{\text{Ahorro coste energético motor comparado vs. motor} + \text{vdf comparado}} \quad (43)$$

$t_A$ : Tiempo amortización de la inversión (años)  
 Precio neto del motor + vdf comparado: Precio neto de venta del motor comparado + precio neto de venta del variador (información del fabricante)  
 Precio neto del motor comparado: Precio neto de venta del motor comparado (información del fabricante)  
 Ahorro coste energético motor comparado vs. motor + vdf comparado: Ahorro coste energético de (37), (38) y (39)

$$t_{A \text{ IE2 vs. IE2+vdf}} = \frac{\text{Precio neto (IE2+vdf)} - \text{Precio neto (motor IE2)}}{\text{Ahorro coste energético anual (IE2 vs. IE2+vdf)}} = \frac{(6.093 + 7.358) - 6.093}{15.410} = \mathbf{0,48} \quad (44)$$

$$t_{A \text{ IE3 vs. IE3+vdf}} = \frac{\text{Precio neto (IE3+vdf)} - \text{Precio neto (motor IE3)}}{\text{Ahorro coste energético anual (IE3 vs. IE3+vdf)}} = \frac{(6.573 + 7.358) - 6.573}{15.177} = \mathbf{0,48} \quad (45)$$

$$t_{A \text{ IE4 vs. IE4+vdf}} = \frac{\text{Precio neto (IE4+vdf)} - \text{Precio neto (motor IE4)}}{\text{Ahorro coste energético anual (IE4 vs. IE4+vdf)}} = \frac{(7.143 + 7.358) - 7.143}{15.065} = \mathbf{0,49} \quad (46)$$



## 5.7 Otras medidas para la eficiencia energética de la aplicación

Otras posibles medidas para la mejora de la eficiencia energética de esta aplicación de bombeo en el caso práctico expuesto de la IDAM de Lanzarote IV, además de las ya vistas con la instalación de motores con mejor clase de eficiencia o la regulación a través de un variador de frecuencia, serían: [20]

- Mejora del mantenimiento del sistema:
  - Arreglar fugas, juntas dañadas y fisuras de la carcasa en la bomba para minimizar las pérdidas hidráulicas.
  - Eliminar incrustaciones en los componentes como intercambiadores de calor o filtros.
  - Eliminar incrustaciones o sedimentos de tuberías.
- Eliminar usos innecesarios:
  - Usar interruptores de presión para apagar bombas innecesarias.
  - Aislar los caminos de flujo a equipos no esenciales o no operativos.
- Hacer coincidir el punto de trabajo de la bomba a la demanda en cada momento:
  - Ajustar o cambiar los impulsores para ajustar la salida de la bomba a los requerimientos del sistema.
- Conseguir los requerimientos del flujo variable que se producen en el sistema sin utilización de válvulas o By-pass
- Cambiar las bombas por un tipo más eficiente con mejor rendimiento.
- Mejora de los elementos de instrumentación como caudalímetros, sensores de presión, de temperatura, etc. y de los sistemas de control para incrementar el grado de automatización de la planta.
- Sustituir o eliminar equipos obsoletos o de mucha antigüedad por otros más modernos y eficientes.
- Minimizar el factor de sobredimensionamiento de motores y bombas ajustándolo a los requerimientos del proceso.
- Implantar un programa de mantenimiento predictivo y correctivo en la instalación eléctrica de la planta.
- Auditoría energética de la planta e implantación de sistema de gestión energética.

## 5.8 Conclusiones para el caso práctico

En base a los cálculos de consumos energéticos y ahorros realizados, para el caso práctico planteado del sistema de bombeo de recirculación o bombas booster de la IDAM de Lanzarote IV, las conclusiones que podemos obtener son las siguientes:

El impacto en el ahorro energético que se obtendría en estas bombas por la instalación de un motor para accionarlas de clase de eficiencia IE2, IE3 o IE4 es significativa, aproximadamente tendríamos al año un ahorro de energía consumida de 11.500 kW entre el motor IE2 con menor rendimiento y el motor IE4 con mayor rendimiento, pero es cierto que en este tipo de motores de mediana-alta potencia (90 kW) el rendimiento o eficiencia ya es muy elevado (mayor del 90 %) y la diferencia del rendimiento según la clase de eficiencia del motor no es muy grande.

El ahorro económico al año, derivado del ahorro energético entre estos motores de distinta eficiencia no es muy elevado, tendríamos un ahorro de 652 € entre el motor IE2 y el motor IE3, y un ahorro de 1.138 € entre el motor IE2 y el motor IE4, aunque la diferencia de precio de adquisición entre estos motores también es baja por lo que el tiempo de amortización del coste de estos motores en sus distintas variantes IE2, IE3 o IE4 es pequeño, no llegando en ningún caso al año y haciendo interesante cualquiera de las tres posibilidades planteadas a la hora de seleccionar el motor para accionar esa bomba.

Para el caso de la instalación del variador de frecuencia que regula el motor, en los tres tipos de motor planteados IE2, IE3 e IE4, frente a una regulación tradicional con válvulas, el ahorro energético y económico derivado es alto, teniendo un ahorro energético entre 155.662 y 151.872 kW anuales dependiendo del tipo de motor y por tanto un ahorro económico entre 15.410 y 15.065 € anuales, siendo el tiempo de amortización de la inversión del variador muy bajo, prácticamente medio año, y muy similar para los tres tipos de motor IE2, IE3 e IE4.

Se puede comprobar que entre los tres motores con distinta clase de eficiencia, usando el variador de frecuencia, la diferencia en relación al consumo energético y ahorro económico no es tan importante o no tiene tanto peso como el uso del variador de frecuencia frente a la regulación tradicional por válvulas.

Otra de las conclusiones que podemos sacar respecto a este caso práctico es que los equipos requeridos para la instalación, tanto la bomba, como el motor y el variador de frecuencia, se sobredimensionan con respecto a las necesidades o requerimientos reales del proceso por seguridad:

Potencia nominal demandada por la bomba en el punto de trabajo: 50,6 kW

Máxima potencia demandada por la bomba: 60,6 kW

**Potencia del motor recomendada: 75 kW**

**Potencia del motor + factor de seguridad exigido (20%): 90 kW**

**Potencia del variador + factor de seguridad exigido (15%): 110 kW**

Pero un ajuste mayor o un dimensionamiento más preciso de esos requerimientos, sin tener que llegar a sobredimensionar tanto la potencia de los equipos, redundaría también en una mayor eficiencia y ahorro energético del sistema.

## 6. Referencias

---

- [1] Nathalie DESBROSSES, Pascal CHARRIAU, 2014 Global Energy Trends, ENERDATA, 2015 Edition, <http://www.enerdata.net>
- [2] European Commission, EU energy in figures Statistical Pocketbook 2014, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014
- [3] Didier Bosseboeuf, Energy Efficiency Policies in Industry Lessons Learned from the ODYSSEE-MURE Project, ADEME Editions, Paris 2012
- [4] Bruno Lapillonne, Karine Pollier, Nehir Samci, Energy Efficiency Trends in Industry in the EU, ENERDATA, November 2014
- [5] European Energy Network, ENERGY EFFICIENCY IN EUROPE Overview of policies and good practices, Nicolas Dyèvre, ENERDATA Carine Sebi, Nicolas Mairret and Karine Pollier, January 2014
- [6] Nathalie Desbrosses, UNDERSTANDING THE ELECTRIFICATION OF INDUSTRIAL ENERGY CONSUMPTION IN EUROPE, 02/07/2012, <http://www.leonardo-energy.org>
- [7] Pilar de Arriba Segurado, Jesús Pedro García Montes, Energy Efficiency Policies and Measures in Spain, Monitoring of EU and national energy efficiency targets, IDAE, October 2012.
- [8] MINETUR SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA, La Energía en España 2013, <http://www.minetur.es>
- [9] IDAE, Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 Resumen Ejecutivo, 2011
- [10] MINETUR, Secretaría de estado de Energía, Plan Nacional de acción de Eficiencia Energética 2014-2020, Abril 2014
- [11] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, PROPOSAL FOR A COMMISSION REGULATION implementing Directive 2005/32/EC with regard to motors SUMMARY IMPACT ASSESSMENT, Brussels, 22.7.2009
- [12] DIRECTIVA 2005/32/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, Diario Oficial de la Unión Europea, 22/07/2005
- [13] REGLAMENTO (CE) N° 640/2009, Diario Oficial de la Unión Europea, 23/07/2009
- [14] REGLAMENTO (UE) N° 4/2014, Diario Oficial de la Unión Europea, 07/01/2014
- [15] IEC 60034-2-2 Specific methods for determining separate losses of large machines from tests – Supplement to IEC 60034-2-1, Edition 1.0, 2010-03
- [16] MURE, FRAUNHOFER ISI, EU2 Voluntary labelling of electric motors (CEMEP/EU Agreement), Updated 30/07/2014
- [17] SIEMENS, Minimum Energy Performance Standard, 2015 Siemens AG
- [18] DIN EN 60034-30-1:2014 Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code), December 2014
- [19] IDAE, IV.12. PRECIO NETO DE LA ELECTRICIDAD PARA USO DOMÉSTICO Y USO INDUSTRIAL, Fecha Actualización: 03/06/2015, <http://www.idae.es>
- [20] Anibal T. de Almeida and Joao Fong, Hugh Falkner, Best Practices in Energy Efficient Industrial Technologies: Motor Systems, AUGUST 2011
- [21] DIN IEC 60034-31 Guide for the selection and application of energy-efficient motors including variable-speed applications, August 2008



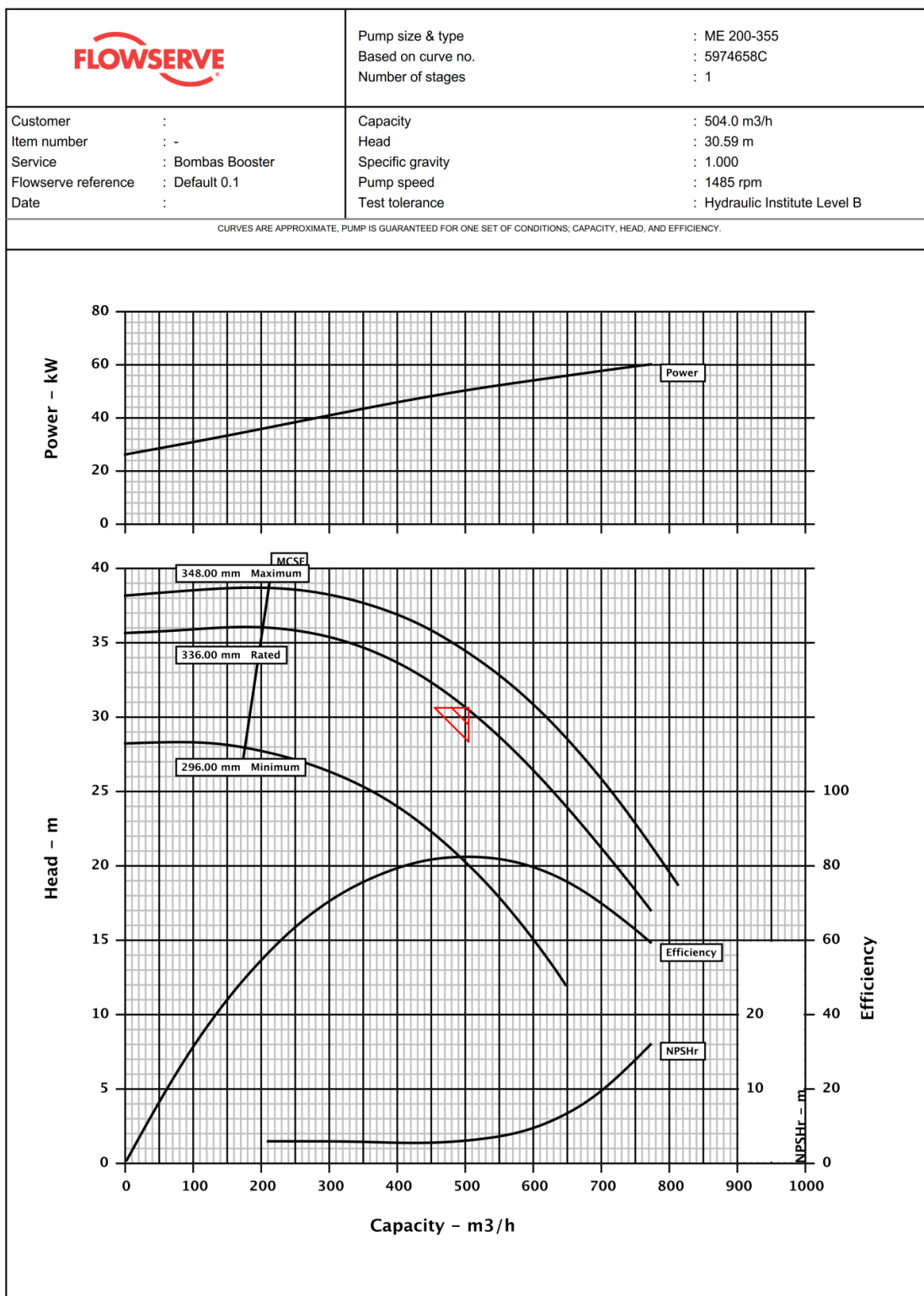
- [22] WATERGY / FIDE / ERGON PLUS INGENIERÍA, CURSO BÁSICO DE APLICACIÓN DE VELOCIDAD VARIABLE EN SISTEMAS DE BOMBEO
- [23] Bombas IDEAL, Datos técnicos de hidráulica, <http://www.bombasideal.com>
- [24] Europump, EXTENDED PRODUCT APPROACH FOR PUMPS, Draft version, 8/04/2013, <http://www.europump.org>
- [25] PLIEGO DE BASES DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES DE LA REHABILITACIÓN DE LA IDAM DE LANZAROTE IV, Abril 2014  
<http://www.canalgestionlanzarote.es>
- [26] <http://www.odyssee-mure.eu>
- [27] <http://www.solerpalau.es>
- [28] <http://www.flowserve.com>
- [29] <https://www.siemens.com/dt-configurator>
- [30] Diego Sevilleja Aceituno, Eficiencia energética en el sector industrial, PFC, Universidad Carlos III de Madrid, 21/12/2011
- [31] Guillermo Escobar, Wiki EOI Documentación docente, Wikilibro eficiencia energética, <http://www.eoi.es>





## ANEXO 1.

# CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBA BOOSTER TIPO ME 200-355 [28]





## ANEXO 2.

# HOJAS DE DATOS MOTORES BOMBA BOOSTER [29]

# SIEMENS

### Hoja de datos de motores de jaula de ardilla trifásicos

Data sheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors



**Datos de pedido:** 1LE1501-2DB23-4AJ4-Z  
**Ordering data:** L50

**Motor type:** 1CV2282B

Número de pedido del cliente / Client order

Nº. de pedido Siemens / Order no.:

Número de oferta / Offer no.:

Nota / Remarks:

Nº. de ítem / Item no.:

Número de envío / Consignment no.:

Proyecto / Project:

BOMBA BOOSTER IE2

U	Δ / Y	f	P	P	I	n	M	NOM. EFF at ... load [%]			Power factor at ... load			I <sub>s</sub> /I <sub>N</sub>	M <sub>s</sub> /M <sub>N</sub>	M <sub>s</sub> /M <sub>N</sub>	IE-CL
[V]		[Hz]	[kW]	[hp]	[A]	[1/min]	[Nm]	4/4	3/4	2/4	4/4	3/4	2/4	I <sub>s</sub> /I <sub>N</sub>	T <sub>s</sub> /T <sub>N</sub>	T <sub>s</sub> /T <sub>N</sub>	
400	Δ	50	90,00	- / -	159,00	1485	578,0	94,2	94,3	93,6	0,87	0,84	0,75	7,3	2,6	3,1	IE2
690	Y	50	90,00	- / -	92,00	1485	578,0	94,2	94,3	93,6	0,87	0,84	0,75	7,3	2,6	3,1	IE2
460	Δ	60	104,00	- / -	158,00	1785	556,0	95,0	95,1	94,3	0,87	0,85	0,77	7,2	2,5	3,1	IE2
460	Δ	60	90,00	- / -	137,00	1785	481,0	94,5	94,3	93,3	0,87	0,84	0,75	8,1	2,9	3,4	IE2

IM B3 / IM 1001

FS 280 M

570 kg

IP55

IEC/EN 60034

IEC, DIN, ISO, VDE, EN

Datos mecánicos / Mechanical data				Caja de bornes / Terminal box	
Nivel de presión sonora (L <sub>pfA</sub> ) 50Hz/60Hz	71 db(A)	78 db(A)		Posición de la caja de bornes	arriba
Momento de inercia	1,40 kg m <sup>2</sup>			Terminal box position	top
Moment of inertia				Material de la caja de bornes	Fundición gris
Rodamiento LA   LCA	6317 C3	6317 C3		Material of terminal box	cast iron
Bearing DE   NDE				Tipo	TB1 N01
Vida útil de rodamiento	40000 h			Type of terminal box	
Bearing lifetime				Rosca del tornillo de contacto	M10
Lubricante	Esso Unirex N3			Contact screw thread	
Lubricants				Sección de conductor, máx.	120,0 mm <sup>2</sup>
Dispositivo de relubricación	Sí (estándar)			Max. cross-sectional area	
Regreasing device	Yes (standard)			Diámetro de cable de... a...	34,0 mm - 42,0 mm
Boquilla de engrase	- / -			Cable diameter from ... to ...	
Grease nipple				Entrada de cable	2xM63x1,5-2xM20x1,5
Tipo de rodamientos	Rodamiento fijo en LCA/NDE			Cable entry	
Type of bearing	Locating bearing NDE			Pasacables	4 tapones
Agujeros drenaje de condensado	Sí (estándar)			Cable gland	4 plugs
Condensate drainage holes	Yes (standard)			Condiciones ambientales / Environmental conditions	
Borne de tierra externo	Sí (estándar)			Temperatura ambiente	-20 °C - +40 °C
External earthing terminal	Yes (standard)			Ambient temperature	
Clase vibratoria	A			Altitud sobre nivel del mar	1000 m
Vibration class				Altitude above sea level	
Aislamiento	155(F) a 130(B)			Versiones especiales / Special design	
Insulation	155(F) to 130(B)			L50	Aislamiento de los cojinetes LA
Tipo de servicio	S1				Bearing insulation DE
Duty type					
Sentido de giro	ambas direcciones				
Direction of rotation	bidirectional				
Material de la carcasa	fundición gris				
Frame material	cast iron				
Datos del tiempo de parada del calentador	-/-				
Data of anti condensation heating					
Pintura	Pintura normal C2				
Coating	Standard paint finish C2				
Color	RAL7030				
Color					
Protección del motor	(J) 6 termorresistencias PT100				
Motor protection	(J) 6 resistance thermometers PT100				
Método de refrigeración	IC411 - ventilación propia, refrigeración superficial				
Method of cooling	IC411 - self ventilated, surface cooled				





# SIEMENS

## Hoja de datos de motores de jaula de ardilla trifásicos

Data sheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors



**Datos de pedido:** 1LE1503-2DB23-4AJ4-Z  
**Ordering data:** L50

**Motor type:** 1CV3282B

Número de pedido del cliente / Client order

Nº. de ítem / Item no.:

BOMBA BOOSTER IE3

Nº. de pedido Siemens / Order no.:

Número de envío / Consignment no.:

Número de oferta / Offer no.:

Proyecto / Project:

Nota / Remarks:

U	Δ / Y	f	P	P	I	n	M	NOM. EFF at ... load [%]			Power factor at ... load			I <sub>a</sub> /I <sub>N</sub>	M <sub>a</sub> /M <sub>N</sub>	M <sub>B</sub> /M <sub>N</sub>	IE-CL
[V]		[Hz]	[kW]	[hp]	[A]	[1/min]	[Nm]	4/4	3/4	2/4	4/4	3/4	2/4	I <sub>a</sub> /I <sub>N</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>N</sub>	T <sub>B</sub> /T <sub>N</sub>	
400	Δ	50	90,00	- / -	157,00	1485	579,0	95,2	95,5	95,3	0,87	0,84	0,76	7,2	2,6	3,0	IE3
690	Y	50	90,00	- / -	91,00	1485	579,0	95,2	95,5	95,3	0,87	0,84	0,76	7,2	2,6	3,0	IE3
460	Δ	60	104,00	- / -	158,00	1785	556,0	95,0	95,3	94,9	0,87	0,85	0,77	7,0	2,6	2,9	IE2
460	Δ	60	90,00	- / -	136,00	1785	481,0	95,4	95,5	94,9	0,87	0,84	0,75	8,0	2,9	3,3	IE3
IM B3 / IM 1001			FS 280 M		670 kg	IP55		IEC/EN 60034		IEC, DIN, ISO, VDE, EN							

Datos mecánicos / Mechanical data		
Nivel de presión sonora (Lp <sub>fA</sub> ) 50Hz/60Hz	70 db(A)	79 db(A)
Momento de inercia	1,70 kg m²	
Moment of inertia		
Rodamiento LA   LCA	6317 C3	6317 C3
Bearing DE   NDE		
Vida útil de rodamiento	40000 h	
Bearing lifetime		
Lubricante	Esso Unirex N3	
Lubricants		
Dispositivo de relubricación	Sí (estándar)	
Regreasing device	Yes (standard)	
Boquilla de engrase	- / -	
Grease nipple		
Tipo de rodamientos	Rodamiento fijo en LCA/NDE	
Type of bearing	Locating bearing NDE	
Agujeros drenaje de condensado	Sí (estándar)	
Condensate drainage holes	Yes (standard)	
Borne de tierra externo	Sí (estándar)	
External earthing terminal	Yes (standard)	
Clase vibratoria	A	
Vibration class		
Aislamiento	155(F) a 130(B)	
Insulation	155(F) to 130(B)	
Tipo de servicio	S1	
Duty type		
Sentido de giro	ambas direcciones	
Direction of rotation	bidirectional	
Material de la carcasa	fundición gris	
Frame material	cast iron	
Datos del tiempo de parada del calentador	-/-	
Data of anti condensation heating		
Pintura	Pintura normal C2	
Coating	Standard paint finish C2	
Color	RAL7030	
Color		
Proteccion del motor	(J) 6 termorresistencias PT100	
Motor protection	(J) 6 resistance thermometers PT100	
Método de refrigeración	IC411 - ventilación propia, refrigeración superficial	
Method of cooling	IC411 - self ventilated, surface cooled	

Caja de bornes / Terminal box	
Posición de la caja de bornes	arriba
Terminal box position	top
Material de la caja de bornes	Fundición gris
Material of terminal box	cast iron
Tipo	TB1 N01
Type of terminal box	
Rosca del tornillo de contacto	M10
Contact screw thread	
Sección de conductor, máx.	120,0 mm²
Max. cross-sectional area	
Diámetro de cable de... a...	34,0 mm - 42,0 mm
Cable diameter from ... to ...	
Entrada de cable	2xM63x1,5-2xM20x1,5
Cable entry	
Pasacables	4 tapones
Cable gland	4 plugs

Condiciones ambientales / Environmental conditions	
Temperatura ambiente	-20 °C - +40 °C
Ambient temperature	
Altitud sobre nivel del mar	1000 m
Altitude above sea level	

Versiones especiales / Special design	
L50	Aislamiento de los cojinetes LA
	Bearing insulation DE





# SIEMENS

## Hoja de datos de motores de jaula de ardilla trifásicos

Data sheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors



**Datos de pedido:** 1LE1504-2DB23-4AJ4-Z  
**Ordering data:** L50

**Motor type:** 1CV4282B

Número de pedido del cliente / Client order

Nº. de ítem / Item no.:

BOMBA BOOSTER IE4

Nº. de pedido Siemens / Order no.:

Número de envío / Consignment no.:

Número de oferta / Offer no.:

Proyecto / Project:

Nota / Remarks:

U	Δ / Y	f	P	P	I	n	M	NOM. EFF at ... load [%]			Power factor at ... load			I <sub>A</sub> /I <sub>N</sub>	M <sub>N</sub> /M <sub>N</sub>	M <sub>N</sub> /M <sub>N</sub>	IE-CL
[V]		[Hz]	[kW]	[hp]	[A]	[1/min]	[Nm]	4/4	3/4	2/4	4/4	3/4	2/4	I <sub>A</sub> /I <sub>N</sub>	T <sub>N</sub> /T <sub>N</sub>	T <sub>N</sub> /T <sub>N</sub>	
400	Δ	50	90,00	- / -	157,00	1485	578,0	96,1	96,4	96,2	0,86	0,84	0,77	8,9	3,0	3,5	IE4
690	Y	50	90,00	- / -	92,00	1485	578,0	96,1	96,4	96,2	0,86	0,84	0,77	8,9	3,0	3,5	IE4
460	Δ	60	104,00	- / -	158,00	1785	555,0	96,2	96,5	96,2	0,86	0,84	0,78	8,7	2,9	3,3	IE4
460	Δ	60	90,00	- / -	138,00	1790	480,0	96,2	96,1	95,4	0,85	0,81	0,70	9,5	3,2	3,6	IE4
IM B3 / IM 1001			FS 280 M		730 kg		IP55		IEC/EN 60034		IEC, DIN, ISO, VDE, EN						

Datos mecánicos / Mechanical data		
Nivel de presión sonora (LpFA) 50Hz/60Hz	69 db(A)	74 db(A)
Momento de inercia	2,00 kg m²	
Moment of inertia		
Rodamiento LA   LCA	6317 C3	6317 C3
Bearing DE   NDE		
Vida útil de rodamiento	40000 h	
Bearing lifetime		
Lubricante	Esso Unirex N3	
Lubricants		
Dispositivo de relubricación	Sí (estándar)	
Regreasing device	Yes (standard)	
Boquilla de engrase	- / -	
Grease nipple		
Tipo de rodamientos	Rodamiento fijo en LCA/NDE	
Type of bearing	Locating bearing NDE	
Agujeros drenaje de condensado	Sí (estándar)	
Condensate drainage holes	Yes (standard)	
Borne de tierra externo	Sí (estándar)	
External earthing terminal	Yes (standard)	
Clase vibratoria	A	
Vibration class		
Aislamiento	155(F) a 130(B)	
Insulation	155(F) to 130(B)	
Tipo de servicio	S1	
Duty type		
Sentido de giro	ambas direcciones	
Direction of rotation	bidirectional	
Material de la carcasa	fundición gris	
Frame material	cast iron	
Datos del tiempo de parada del calentador	-/-	
Data of anti condensation heating		
Pintura	Pintura normal C2	
Coating	Standard paint finish C2	
Color	RAL7030	
Color		
Proteccion del motor	(J) 6 termorresistencias PT100	
Motor protection	(J) 6 resistance thermometers PT100	
Método de refrigeración	IC411 - ventilación propia, refrigeración superficial	
Method of cooling	IC411 - self ventilated, surface cooled	

Caja de bornes / Terminal box	
Posición de la caja de bornes	arriba
Terminal box position	top
Material de la caja de bornes	Fundición gris
Material of terminal box	cast iron
Tipo	TB1 N01
Type of terminal box	
Rosca del tornillo de contacto	M10
Contact screw thread	
Sección de conductor, máx.	120,0 mm²
Max. cross-sectional area	
Diámetro de cable de... a...	34,0 mm - 42,0 mm
Cable diameter from ... to ...	
Entrada de cable	2xM63x1,5-2xM20x1,5
Cable entry	
Pasacables	4 tapones
Cable gland	4 plugs

Condiciones ambientales / Environmental conditions	
Temperatura ambiente	-20 °C - +40 °C
Ambient temperature	
Altitud sobre nivel del mar	1000 m
Altitude above sea level	

Versiones especiales / Special design	
L50	Aislamiento de los cojinetes LA
	Bearing insulation DE

## ANEXO 3.

# HOJAS DE DATOS VARIADOR BOMBA BOOSTER [29]

# SIEMENS

### Hoja de datos de SINAMICS G150

Data sheet for SINAMICS G150

**Datos de pedido** 6SL3710-1GE32-1AA3

**Ordering data:**

Número de pedido del cliente / Client order

Nº. de pedido Siemens / Order no.:

Número de oferta / Offer no.:

Nota / Remarks:

Nº. de item / Item no.:

Número de envío / Consignment no.:

Proyecto / Project:



### Características asignadas / Ratings

#### Entrada / Input

Frecuencia de red Supply frequency	50 Hz $\pm 5\%$
Tensión de alimentación Input supply voltage	400 V $\pm 10\%$
Corriente de entrada asignada Rated input current	229 A
Corriente máx. Max. current	335 A
Número de pulsos Pulse number	6
Capacidad de regeneración Regenerative capability	No No (2Q)

#### Salida / Output:

Tensión de salida Output voltage	400 V
potencia (LO) kW Rated output (LO) in kW	110 kW
potencia (HO) kW Rated power (HO) in kW	90 kW
Corriente de salida asignada Rated output current	210 A
Corriente nominal de salida (lo) Rated output current (LO)	205 A
corriente nominal de salida (ho) Rated output current (HO)	178 A
Corriente de salida máx. Output current Max	307 A
frecuencia de pulsación (predeterminado) Pulse frequency (default setting)	2 kHz

#### Datos básicos / Basic data:

Pérdidas Power loss	2,9 kW
Pérdidas con opciones Power loss including options	2,9 kW
Nivel de presión acústica $L_{pa}$ (1 m) Sound pressure level $L_{pa}$ (1 m)	67 dB
Sección de conductor, máx. Conductor cross section, max. (IEC)	4 x 240 mm <sup>2</sup>
Grado de protección Degree of protection	IP20
Dimensiones (Al x An x P) Dimensions (H x W x D)	2000 mm x 800 mm x 600 mm
Peso aprox. Weight approx.	460 kg
Tamaño constructivo Frame size	F
Tipo Type	A
Color Color	RAL7035

#### Condiciones ambientales / Environmental conditions

Altura sobre el nivel del mar Installation altitude	1000 m
Refrigerante Coolant	aire Air
Demanda de aire refrigerante Air cooling requirements	0,17 m <sup>3</sup> /s
Temperatura ambiente Ambient temperature	0 °C - +40 °C

### Pérdidas en convertidor según EN 50598-2\* / Losses

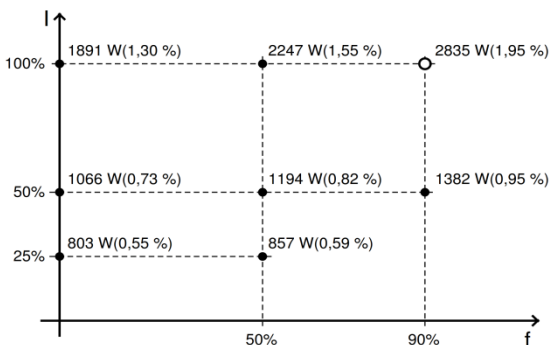
Clase de eficiencia

IE2

Efficiency class

Comparación con el convertidor de referencia (90% / 100%) -52,47 %

Comparison with the reference converter (90% / 100%)



Los valores en porcentaje indican las pérdidas referidas a la potencia asignada del convertidor.  
The percentage values show the losses in relation to the rated apparent power of the converter.

The diagram shows the losses for the points (as per standard EN 50598) of the relative torque generating current (I) over the relative motor stator frequency (f). The values are valid for the basic version of the converter including line choke without options/components.  
The diagram shows the losses for the points (as per standard EN 50598) of the relative torque generating current (I) over the relative motor stator frequency (f). The values are valid for the basic version of the converter including line choke without options/components.

\*Valores calculados; conforme a la norma, elevados en un 10%  
\*calculated values; increased by 10% according to the standard

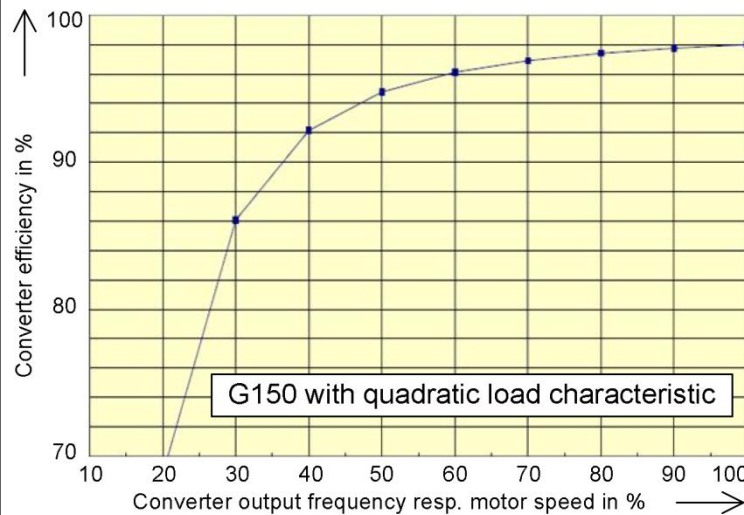
### Versiones especiales / Special design

## Fundamental Principles and System Description

### Engineering Information

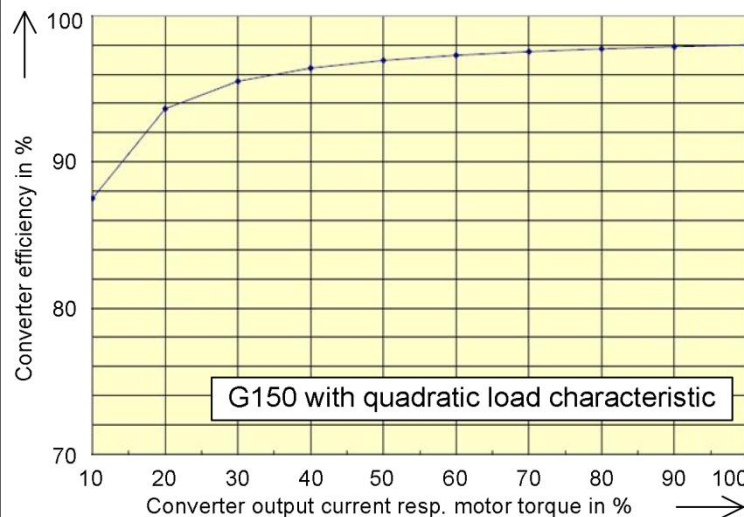
The charts below show the partial-load efficiency of SINAMICS G130 and G150 converters for drives with quadratic load characteristic  $M \sim n^2$ . The calculations are based on a typical efficiency at full load of 98 %. The efficiency is represented in three different ways. In one chart, the efficiency is shown as a function of the output frequency, in the second chart, as a function of the output current, and in the third chart, as a function of the active output power.

Figure 2a) shows the characteristic curve of the efficiency for drives with quadratic load characteristic as a function of the output frequency ratio  $f_{Out}/f_{Out-rated}$  which is proportional to the motor speed ratio  $n/n_{rated}$ .



**Figure 2a)**  
Efficiency of SINAMICS G130 and G150 converters in drives with quadratic load characteristic as a function of the output frequency ratio in %

Figure 2b) shows the characteristic curve of the efficiency for drives with quadratic load characteristic as a function of the output current ratio  $I_{Out}/I_{Out-rated}$  which is proportional to the motor torque ratio  $M/M_{rated}$ .



**Figure 2b)**  
Efficiency of SINAMICS G130 and G150 converters in drives with quadratic load characteristic as a function of the output current ratio in %

## Fundamental Principles and System Description

### Engineering Information

Figure 2c) shows the characteristic curve of the efficiency for drives with quadratic load characteristic as a function of the active output power ratio  $P_{\text{Out}}/P_{\text{Out-100}}$  which is proportional to the motor power ratio  $P/P_{\text{rated}}$ .

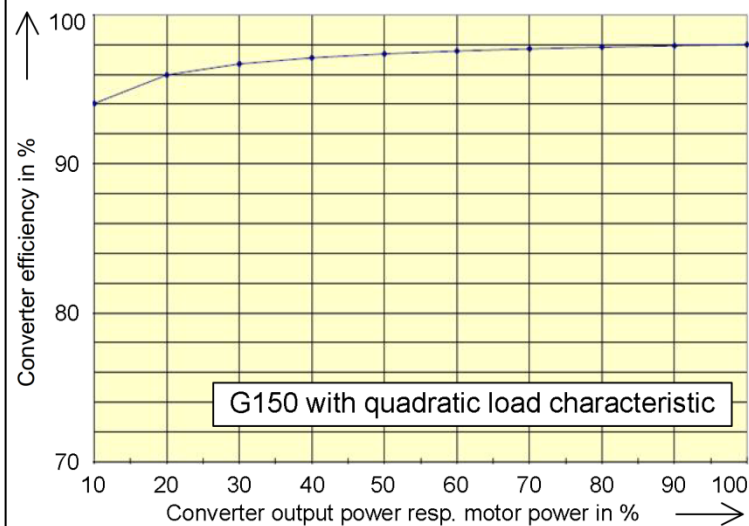


Figure 2c)

Efficiency of SINAMICS G130 and G150 converters in drives with quadratic load characteristic as a function of the active output power ratio in %